

UNIEVANGÉLICA

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

MARCOS PAULO RIBEIRO SILVA

**CARACTERIZAÇÃO DE SOLOS TROPICAIS ATRAVÉS DE
MÉTODOS EXPEDITOS PARA FINS DE PAVIMENTAÇÃO**

**ANÁPOLIS / GO
2021**

MARCOS PAULO RIBEIRO SILVA

**CARACTERIZAÇÃO DE SOLOS TROPICAIS ATRAVÉS DE
MÉTODOS EXPEDITOS PARA FINS DE PAVIMENTAÇÃO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA**

ORIENTADORA: VANESSA HONORATO DOMINGOS

ANÁPOLIS / GO: 2021

FICHA CATALOGRÁFICA

SILVA, Marcos Paulo Ribeiro

Caracterização de solos tropicais através de métodos expeditos para fins de pavimentação

66P, 297 mm (ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 2021)

TCC - UniEVANGÉLICA

Curso de Engenharia Civil.

- | | |
|-------------------------|---------------------|
| 1. Pavimentação | 2. Solo Tropical |
| 3. Método das pastilhas | 4. Azul de metileno |
| I. ENC/UNI | II. Bacharel |

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

SILVA, Marcos Paulo Ribeiro. Caracterização de solos tropicais através de métodos expeditos para fins de pavimentação. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEVANGÉLICA, Anápolis, GO, 66p. 2021.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Marcos Paulo Ribeiro Silva

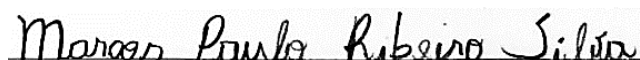
TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO:

Caracterização de solos tropicais através de métodos expeditos para fins de pavimentação.

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil

ANO: 2021

É concedida à UniEVANGÉLICA a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.



Marcos Paulo Ribeiro Silva

E-mail: marcospaulo7.mpr@gmail.com

MARCOS PAULO RIBEIRO SILVA

**CARACTERIZAÇÃO DE SOLOS TROPICAIS ATRAVÉS DE
MÉTODOS EXPEDITOS PARA FINS DE PAVIMENTAÇÃO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE
ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL**

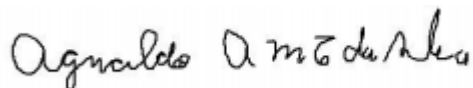
APROVADO POR:



**VANESSA HONORATO DOMINGOS, Mestra (UniEVANGÉLICA)
(ORIENTADORA)**



**RHOGÉRIO CORREIA DE SOUZA ARAÚJO, Mestre
(UniEVANGÉLICA) (EXAMINADOR INTERNO)**



**AGNALDO ANTONIO MOREIRA TEODORO DA SILVA, Mestre
(UniEVANGÉLICA) (EXAMINADOR INTERNO)**

DATA: ANÁPOLIS/GO, 24 de MAIO de 2021.

AGRADECIMENTOS

A minha família, que não tiveram a oportunidade de se graduar no ensino superior; em especial a Elza Ribeiro Silva, minha mãe, por ser a minha maior fonte de força e exemplo de resiliência. Sou grato pelo seu amor incondicional e apoio demonstrado ao longo de toda minha vida não só durante o período de graduação.

Sou grato ao meu pai, por prover os recursos necessários para que eu pudesse alcançar meus objetivos; a minha irmã, apesar das diferenças, por sempre me auxiliar em todas as minhas necessidades.

Sou grato aos meus avós por acreditarem e apoiarem minha jornada, em especial a Iraci Maria Ribeiro, minha avó, pelos seus sábios conselhos e por não medir esforços para me apoiar.

A professora Vanessa Honorato Domingos, por ter sido minha orientadora e ter desempenhado tal função com dedicação e amizade.

As técnicas do laboratório e a todos que participaram, direta ou indiretamente do desenvolvimento deste trabalho de pesquisa, enriquecendo o meu processo de aprendizado.

Marcos Paulo Ribeiro Silva

RESUMO

A pavimentação decorre da seleção e extração de materiais apropriados e requer altos investimentos, logo é financeiramente vantajoso a utilização de materiais alternativos mais próximos da área a ser pavimentada, dos quais destacam-se os solos tropicais lateríticos. Com o objetivo de avaliar a aplicabilidade na pavimentação de duas amostras de solo, ITG-L e GYN-S, retiradas dos horizontes laterítico e saprolítico, respectivamente, foram realizados os ensaios expeditos da pastilha e azul de metileno. O ensaio das pastilhas possibilita a identificação do grupo MCT ao qual o solo amostrado pertence, através de valores de penetração e contração diametral dos corpos de prova. O ensaio de absorção de azul de metileno, por sua vez, avalia o grau de atividade dos argilominerais através do cálculo do coeficiente de atividade da fração argilosa do solo (CA). A amostra ITG-L apresentou penetração de 0,0mm e contração diametral de 0,48mm que, através do ábaco do método expedito as pastilhas obteve classificação LA-LA' (Areias lateríticas quartzosa – Solos arenosos lateríticos). A amostra GYN-S apresentou penetração de 5,0mm e contração diametral de 0,60mm, obteve classificação NS'/NA' (Areia saprolítica composta de grão de quartzo e/ou mica – Solo arenoso saprolítico). Os resultados do ensaio de azul de metileno apontaram que os argilominerais da amostra ITG-L são laterizados, pouco ativos (CA=6,84), já os argilominerais da amostra GYN-S são caulinita, ativa (CA=16,66). O método das pastilhas foi assertivo ao distinguir a amostra de solo laterítica da saprolítica. O ensaio de azul de metileno constatou que o grau de atividade dos argilominerais presentes na amostra saprolítica (GYN-S) é ativo, que indica instabilidade volumétrica quando compactado e na presença de água, comprovando a inadequação para pavimentação. Os ensaios expeditos em questão, se mostraram eficazes na identificação do caráter laterítico dos solos, apresentam como vantagens além da rapidez, a execução em campo e de baixo custo. Sendo indicados para a fase de estudo de viabilidade e de projeto executivo, como uma maneira de reduzir o custo do estudo de opções, quer de jazidas, quer de alternativas para a pavimentação econômica.

PALAVRAS-CHAVE: Pavimentação. Solo tropical. Método das pastilhas. Azul de metileno.

ABSTRACT

Paving depends on the selection and extraction of appropriate materials and requires high investments, then it is financially advantageous to use alternative materials closer to the area to be paved, which the lateritic tropical soils stand out. In order to evaluate the applicability in paving of two soil samples, ITG-L and GYN-S, taken from the lateritic and saprolitic horizons, respectively, expeditious tests, the pellet method and methylene blue test were executed. The pellet test allows the identification of the MCT group to which sampled soil belongs, according to the values of penetration and diametrical contraction. The methylene blue adsorption test, in turn, assesses the degree of clay minerals activity by calculating the activity coefficient of the clayey fraction of the soil (CA). The ITG-L sample showed a penetration of 0.0mm and a diametrical contraction of 0.48mm which, using the abacus of the expedited pellet method, obtained LA-LA' classification (Quartz lateritic sands - lateritic sandy soils). The GYN-S sample showed a penetration of 5.0 mm and a diametrical contraction of 0.60 mm, obtained an NS/NA' classification (Saprolitic sand composed of quartz grain and / or mica - Saprolitic sandy soil). Methylene blue test's results showed that the clay minerals of the ITG-L sample are laterated, little active (CA = 6.84), whereas the clay minerals of the GYN-S sample are kaolinite, active (CA = 16.66). The pellet method was assertive distinguishing the lateritic from saprolitic soil samples. The methylene blue test found out the degree of activity of the clay minerals present in the saprolitic sample (GYN-S) is active, which indicates volumetric instability when compacted and in the presence of water, proving the inadequacy for paving. The expeditious tests proved to be effective identifying the lateritic character of the soils, presenting advantages besides speed, field execution at low cost. Being recommended for the feasibility study and executive project phase, as a way to reduce the cost of studying options, both for soil deposit and for alternatives for economic paving.

KEYWORDS: Paving. Tropical soils. Pellet method. Methylene blue test.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Vista da calçada do Lorena	18
Figura 2 – Estrutura de um pavimento sob carregamento	19
Figura 3 – Típica seção transversal de um pavimento flexível	20
Figura 4 – Típica seção transversal de um pavimento rígido	20
Figura 5 – Perfil esquemático de ocorrência de solos em ambiente tropical	28
Figura 6 – Esquema para classificação pelo SUCS	30
Figura 7 – Fluxograma de ensaios e dados da classificação MCT	33
Figura 8 – Gráfico da classificação de solos pelo sistema MCT	34
Figura 9 – Carta de classificação do método das pastilhas	36
Figura 10 – Ábaco para identificação do grau de atividade da fração de argila dos solos	38
Figura 11 – Localização da amostra de solo saprolítico	41
Figura 12 – Local de retirada da amostra GYN-S	41
Figura 13 – Localização da amostra de solo laterítico	42
Figura 14 – Local de retirada da amostra ITG-L	42
Figura 15 – Curva granulométrica	43
Figura 16 – Equipamentos essenciais para realização do ensaio das pastilhas	45
Figura 17 – Amostras umedecidas em repouso	46
Figura 18 – Minipenetrômetro adaptado	47
Figura 19 – Secagem ao ar das pastilhas	47
Figura 20 – Processo de reabsorção improvisado	48
Figura 21 – Equipamentos essenciais para realização do ensaio Azul de metileno	49
Figura 22 – Solução padrão de azul de metileno	50
Figura 23 – Realização do ensaio azul de metileno	50
Figura 24 – Amostras após o período de secagem	52
Figura 25 – Pastilha rompida no processo de medição da contração diametral	54
Figura 26 – Amostras após o período de reabsorção: (a) GYN-S e (b) ITG-L	55
Figura 27 – Resultado do ensaio de classificação do método expedito das Pastilhas	55
Figura 28 – Cápsulas utilizadas na determinação da umidade higroscópica do solo	57
Figura 29 – Ponto de viragem da amostra de solo laterítica (ITG-L)	58
Figura 30 – Ponto de viragem da amostra de solo saprolítica (GYN-S)	58
Figura 31 – Resultado do ensaio Azul de Metileno pelo método da mancha	59

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Terminologia das bases	23
Quadro 2 – Terminologia dos revestimentos.....	24
Quadro 3 – Significado das letras utilizadas na classificação SUCS	30
Quadro 4 – Significado das letras utilizadas na classificação MCT.....	34
Quadro 5 – Prioridade dos solos para o uso em pavimentação	35
Quadro 6 – Nomenclatura das amostras	40

LISTA DE TABELA

Tabela 1 – Sistema de classificação de solos pela TRB	32
Tabela 2 – Classificação dos principais argilominerais.....	38
Tabela 3 – Porcentagem de cada fração granulométrica das amostras.....	44
Tabela 4 – Limites de Atterberg	44
Tabela 5 – Contração diametral das amostras GYN-S	53
Tabela 6 – Contração diametral das amostras ITG-L.....	53
Tabela 7 – Contração e penetração das amostras	55
Tabela 8 – Determinação do teor de umidade das amostras.....	57
Tabela 9 – Resultados do ensaio azul de metileno	60

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

AASHTO	<i>American Association of State Highway and Transportation Officials</i>
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AI	<i>Asphalt Institute</i>
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
c'	Coefficiente de deformabilidade da classificação MCT
CA	Coefficiente de Atividade
CBR	<i>California Bearing Ratio</i>
CC	Coefficiente de Curvatura
C_d	Contração diametral
CNT	Confederação Nacional do Transporte
CNU	Coefficiente de Não Uniformidade
CTC	Capacidade de Troca Catiônica
GYN-S	Amostra de solo retirada do horizonte saprolítico
DMC	Dimensão Máxima Característica
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
IG	Índice de Grupo
IP	Índice de Plasticidade
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo
ISC	Índice de suporte Califórnia
ITG-L	Amostra de solo retirada do horizonte laterítico
L	Solo laterítico
LL	Limite de Liquidez
LP	Limite de Plasticidade
MCT	Miniatura Compacta Tropical
MCV	<i>Moisture Condition Value</i>
Mini-CBR	Ensaio de suporte da metodologia MCT
Mini-MCV	Ensaio de Mini-MCV da metodologia MCT
N	Solo saprolítico
NBR	Norma Brasileira
PCA	<i>Portland Cement Association</i>
P_1	Tensão superficial

PVC	Policloreto de Vinila
P_{200}	Porcentagem de solo que passa na peneira de malha nº # 200
P_F	Porcentagem que o solo contém da fração argila
SE	Superfície Específica do solo
SUCS	Sistema Unificado de Classificação de Solos
TRB	<i>Transportation Research Board</i>
v	Velocidade
V_a	Valor de azul de metileno consumida por 1g de amostra de solo
w	Teor de umidade
σ_0	Tensão vertical de compressão
τ_0	Tensão horizontal de cisalhamento

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
1.1 JUSTIFICATIVA.....	14
1.2 OBJETIVOS	15
1.2.1 Objetivo geral	15
1.2.2 Objetivos específicos.....	15
1.3 METODOLOGIA	16
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	16
2 REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1 PAVIMENTOS	17
2.1.1 Breve contextualização histórica.....	17
2.1.2 Definição.....	18
2.1.3 Aspectos funcionais dos pavimentos	19
2.1.4 Camadas.....	20
2.1.5 Classificação dos pavimentos	22
2.1.5.1 Pavimento rígido.....	22
2.1.5.2 Pavimento flexível.....	23
2.1.5.3 Estruturas mistas.....	23
2.2 SOLOS TROPICAIS	27
2.2.1 Definição.....	27
2.2.2 Solos lateríticos	27
2.2.3 Classificações geotécnicas tradicionais.....	29
2.2.3.1 Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS)	29
2.2.3.2 Sistema de classificação de solos pela <i>Transportation Research Board</i> (TRB) ...	31
2.2.4 Metodologia MCT de caracterização de solos tropicais	32
2.2.4.1 Método das pastilhas para identificação expedita do grupo MCT	36
2.2.4.2 Ensaio de absorção de azul de metileno	37
3 MATERIAS E MÉTODOS.....	40
3.1 COLETA E PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS DE SOLO.....	40
3.1.1 Resultados dos ensaios previamente realizados nas amostras de solo.....	43
3.2 IDENTIFICAÇÃO EXPEDITA DO SOLO PELO MÉTODO DAS PASTILHAS	45
3.3 ENSAIO DE ABSORÇÃO DE AZUL DE METILENO PELO MÉTODO DA MANCHA	48

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	52
4.1 MÉTODO DAS PASTILHAS	52
4.2 MÉTODO DA MANCHA DE AZUL DE METILENO	56
5 CONCLUSÃO.....	62
REFERÊNCIAS	64

1 INTRODUÇÃO

O modal de transporte de bens e pessoas mais popular no Brasil é o rodoviário que, por conseguinte, demanda das vias uma boa pavimentação. Segundo Padula (2008), na atual matriz de transportes brasileira, a modal rodoviária corresponde por mais de 60% do transporte de cargas e por cerca de 95% do transporte de passageiros. Ao todo, o território nacional apresenta 1,75 milhão de quilômetros de rodovias, o que corresponde à 4ª maior malha rodoviária do mundo, segundo o levantamento da Confederação Nacional do Transporte (CNT, 2019).

Tratando-se de pavimento flexível, o mais comum no Brasil, o mesmo é subdividido nas seguintes camadas: revestimento, base, sub-base, reforço e regularização do subleito e subleito. A estrutura desse tipo de pavimento é composta de diversos materiais, geralmente granulares. Contudo, tais materiais granulares convencionalmente empregados na estrutura do pavimento estão se tornando cada vez mais escassos e onerosos.

A pavimentação decorre da seleção e extração de materiais apropriados, cuja disponibilidade de recursos é limitada e requer altos investimentos; é financeiramente vantajoso a utilização de materiais alternativos mais próximos da área a ser pavimentada, pois promove notável economia no transporte de material. Entre os materiais alternativos em abundância encontrados no nosso país, estão os solos tropicais. Se tratando da utilização de solos para estruturas de pavimento, saber identificar e classificar o solo disponível na região é crucial para que se elabore um projeto de pavimentação economicamente viável.

Segundo Nogami e Villibor (2009), os órgãos brasileiros responsáveis pela execução e manutenção da infraestrutura rodoviária seguem as instruções e preconizações das normas do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), o qual baseia-se nas normas de entidades norte-americanas, tais como: *American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)*, *American Society for Testing and Materials (ASTM)*, *Asphalt Institute (AI)* e *Portland Cement Association (PCA)*.

Todavia, tais normas foram desenvolvidas para solos de clima frio e temperado, ao passo que, aplicadas nos projetos de pavimentação brasileiros conduzem a resultados divergentes do desempenho estrutural da fração fina dos solos tropicais, devido ao seu comportamento diferenciado em relação aos demais tipos de solo. Sendo o Brasil, um país de clima predominantemente tropical e úmido, ressalta-se a importância de uma metodologia de classificação e identificação que atenda as peculiaridades do solo tropical.

Isto posto, Nogami e Villibor (2009) com o objetivo de aperfeiçoar a caracterização e identificação dos solos tipicamente tropicais, em 1981, divulgaram pela primeira vez a metodologia denominada Miniatura Compacta Tropical (MCT). Um modelo de classificação, que após sofrer alterações até atingir o formato atual, baseia-se em uma sequência de ensaios que simulam as condições de uma camada de solo tropical compactada, sendo capaz de determinar as propriedades geotécnicas, mecânica e hidráulica do solo. Os autores previamente citados, levantaram dois grupos de solos tropicais, os que apresentam comportamento laterítico (L) e comportamento não laterítico (N), dentre eles os saprolíticos.

Na busca de uma alternativa, de baixo custo e fácil execução em campo, para avaliação da empregabilidade dos solos tropicais na pavimentação, encontra-se os ensaios expeditos das pastilhas e o azul de metileno. O método das pastilhas permite a identificação expedita do grupo MCT o qual o solo amostrado pertence. O ensaio de absorção de azul de metileno pelo método da mancha avalia o coeficiente de atividade da fração argilosa do solo, identificando os argilominerais e fornece indicativos do comportamento volumétrico do solo quando compactado e na presença de água – condições que o solo é sujeitado na pavimentação.

O emprego desses ensaios são ideais nas etapas de análise e avaliação de possíveis jazidas de empréstimo de uma obra de pavimentação, destacam-se no fato de que podem ser executados no campo e fornecem de modo rápido e simplificado coeficientes empíricos que são utilizados na caracterização e classificação de solos tropicais.

Nogami e Villibor (2009) afirma que a experiência brasileira no emprego de solos tropicais, mais especificamente do tipo laterítico, na pavimentação tem-se obtido resultados promissores. Além do solo laterítico apresentar o mesmo desempenho dos materiais convencionais – materiais granulares – o caráter barateador que o solo tropical confere a obra de pavimentação corrobora para sua adoção e difusão em larga escala.

1.1 JUSTIFICATIVA

O transporte de cargas e de passageiros no Brasil concentra-se majoritariamente nas rodovias. No decorrer das últimas décadas, houve um acréscimo acentuado do fluxo de veículos que, aliado ao aumento da capacidade e porte dos caminhões de carga; demanda uma boa execução e manutenção dos pavimentos que constituem a malha rodoviária do país. Um pavimento de qualidade – que resista a características análogas de tráfego anteriormente citadas – é essencial para que o setor de transporte melhore seu desempenho e, conseqüentemente, a qualidade de vida da população (CNT, 2019).

A malha rodoviária do país recebe um alto fluxo de veículos diariamente, sendo este o responsável por escoar a produção agrícola, transportar produtos manufaturados, bens de consumo essenciais além do próprio deslocamento de passageiros. Rodovias em estado precário de conservação e/ou sem pavimentação geram altos custos de transporte criando entraves ao desenvolvimento regional. Por essa razão, é crucial que as rodovias estejam em boas condições de uso e que seus pavimentos apresentem bom desempenho ao longo do tempo resistindo às intempéries, ao calor, tráfego e demais condições adversas.

A engenharia civil enseja obras eficazes, tecnicamente seguras e financeiramente baratas. O emprego de materiais regionais em uma obra de pavimentação, como o solo tropical laterítico na estrutura do pavimento, gera economia. Além de atingir o mesmo desempenho dos materiais granulares convencionais há uma redução de custos, visto que solo tropical se encontra com maior facilidade, que por sua vez, diminui os gastos com transporte de material da obra de pavimentação.

É necessário, primeiramente, caracterizar os solos tropicais a fim de utilizá-los na pavimentação. Através dos ensaios azul de metileno e expedito das pastilhas obtém-se satisfatórios parâmetros de análise inicial de um projeto de pavimentação. Visto que os ensaios podem ser executados em campo, oferecem rápidos e confiáveis resultados, de acordo com a metodologia MCT, do tipo de solo tropical encontrado na jazida.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo geral desse trabalho é caracterizar amostras deformadas de solo tropical laterítico e saprolítico através de ensaios expeditos de baixo custo que obtém resultados de acordo com a metodologia MCT, realizando um paralelo entre os resultados obtidos das metodologias de classificação de solos convencionais e os resultados dos ensaios expeditos.

1.2.2 Objetivos específicos

A fim de atingir o objetivo geral proposto, são estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- Apresentar revisão bibliográfica a respeito dos solos tropicais e seu uso na pavimentação.
- Realizar os ensaios expeditos azul de metileno e método das pastilhas para amostras de solo retiradas dos horizontes laterítico e saprolítico.
- Classificar e caracterizar as amostras de solo de acordo método das pastilhas para identificação expedita do grupo MCT e verificar o grau de atividade dos argilominerais do solo através do ensaio de absorção de azul de metileno.

1.3 METODOLOGIA

Gomes, Ramos e Domingos (2019) coletaram amostras de solo tropical do tipo laterítico e saprolítico. As autoras, realizaram ensaios que permitiram a caracterização dos solos por meio do SUCS e TRB. Essas amostras foram utilizadas para a realização dos ensaios expeditos do presente trabalho. O método expedito das pastilhas e o ensaio de absorção de azul de metileno pelo método da mancha foram executados nos laboratórios do centro tecnológico da UniEVANGÉLICA.

A metodologia adotada para a realização do ensaio expedito das pastilhas é a mesma apresentada por Fortes (1997) com algumas reformulações estabelecidas por Silva (2010). As amostras foram classificadas de acordo com metodologia MCT dos autores Nogami e Villibor (2009). Em relação ao ensaio azul de metileno aplicou-se o procedimento adotado por Fabbri (1994).

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho está dividido em 5 capítulos. Capítulo 1, são apresentados a introdução, objetivo geral, objetivos específicos e justificativa. Capítulo 2, é apresentada uma revisão bibliográfica a respeito dos temas relacionados a pavimentação e solos tropicais. Capítulo 3, aborda a metodologia dos ensaios expeditos das amostras deformadas de solo tropical, laterítico e saprolítico. O Capítulo 4, apresenta e discute os resultados dos ensaios. No Capítulo 5, encontra-se a conclusão do trabalho. E por fim, são apresentadas as referências utilizadas no trabalho.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo é apresentada uma breve revisão bibliográfica acerca dos principais temas que constituem o trabalho, onde em suma, aborda-se: a contextualização histórica, aspectos funcionais, distribuição de camadas e classificação dos pavimentos. Definição, classificações tradicionais, classificação de acordo com a metodologia MCT e ensaios expeditos relacionados aos solos tropicais.

2.1 PAVIMENTOS

2.1.1 Breve contextualização histórica

A humanidade, com o propósito de obter matéria-prima, água, áreas cultiváveis e expandir seu território de influência; criou o que denominamos de estradas, cujo pioneiros nessa prática foram os egípcios. Posteriormente, os romanos aprimoraram as estradas conferindo-lhes durabilidade através de pavimentação e sistemas de drenagem (BALDO, 2007).

De acordo com o mesmo autor, durante o período áureo de Roma, mais de 80 mil quilômetros de estradas foram construídos, o próprio imperador Otávio Augusto (30 a.C. a 14 d.C.), era o responsável direto pela administração e manutenção das vias. As estradas romanas foram consideradas um serviço de vital importância na estabilidade política, militar e econômica do império, pois permitia o traslado militar e acesso aos bens disponíveis nos longínquos territórios dominados pelos romanos.

No findar do século XVIII, por diligência de Bernardo José de Lorena, governador da capitania de São Paulo, foi construída a primeira estradada pavimentada do Brasil. Sua consecução foi supervisionada por engenheiros da Escola de Fortificações de Lisboa. A Calçada do Lorena (Figura 1), que ligava o Planalto Paulista ao porto de Santos, foi batizada em homenagem ao seu idealizador (BALDO, 2007).

Na atual matriz de transportes brasileira, a modal rodoviária – a mais popular – corresponde por mais de 60% do transporte de cargas e por cerca de 95% do transporte de passageiros (PADULA, 2008). Ao todo, o território nacional apresenta 1,75 milhão de quilômetros de rodovias, o que corresponde à 4ª maior malha rodoviária do mundo, segundo levantamento da Confederação Nacional do Transporte (CNT, 2019).

Figura 1 – Vista da calçada do Lorena



Fonte: BALDO, 2007.

2.1.2 Definição

Santana (1993) definiu o pavimento como sendo uma estrutura que se assenta sobre uma superfície terraplanada que, fornece ao usuário segurança e conforto durante o deslocamento na via. Tais objetivos devem ser obtidos sob a óptica da engenharia, isto é, com a máxima qualidade e o mínimo custo possíveis.

Segundo Senço (2007) pavimento pode ser definido como um sistema de diversas camadas de espessuras finitas, construído sobre a terraplanagem de um semiespaço infinito que desempenha o papel de fundação da estrutura, denominado de subleito. O pavimento é destinado, econômica e tecnicamente, a resistir aos esforços horizontais (tráfego) e aos verticais (desgaste), além de aprimorar as condições de rolamento quanto a durabilidade, segurança e conforto.

A pavimentação de uma via de circulação de veículos enseja, fundamentalmente, uma melhora operacional para o tráfego, ao passo que é criada uma superfície de rolamento mais regular, aderente e que gera menos ruídos. Conseqüentemente, proporciona aos usuários redução nos custos operacionais visto que a manutenção do veículo está atrelada às condições de conservação da superfície dos pavimentos, além de permitir o deslocamento a maior velocidade que proporciona economia nos tempos de viagem (BALDO, 2007).

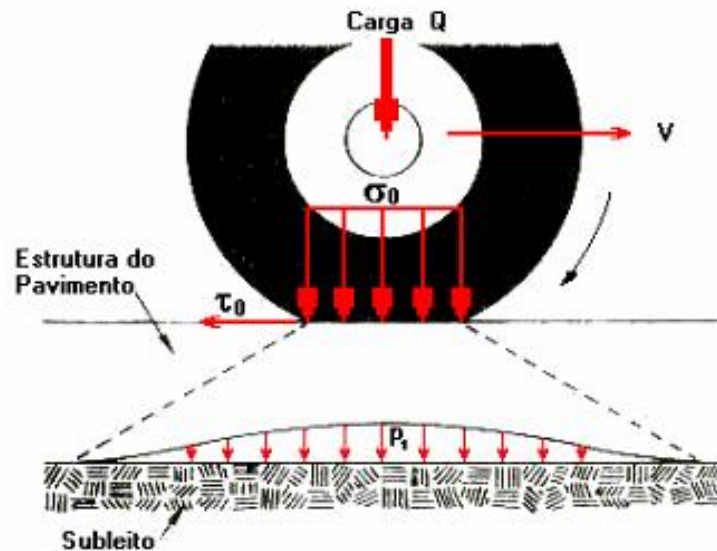
Assim sendo, a pavimentação tem por finalidade propiciar um tráfego, antes de tudo, seguro e confortável, que apresente estruturas e matérias capazes de resistir aos esforços oriundos das cargas dos veículos, ação climática e demais ações adversas; ao menor custo

possível, ou seja, buscando empregar materiais locais na estrutura do pavimento de modo que garanta bom desempenho e durabilidade.

2.1.3 Aspectos funcionais dos pavimentos

Segundo Santana (1993), na ocasião em que o pavimento é solicitado por um carregamento advindo de um veículo (Q), se deslocando a uma determinada velocidade (v), adquire uma tensão vertical de compressão (σ_0) e uma tensão horizontal de cisalhamento (τ_0) conforme representado na Figura 2.

Figura 2 – Estrutura de um pavimento sob carregamento



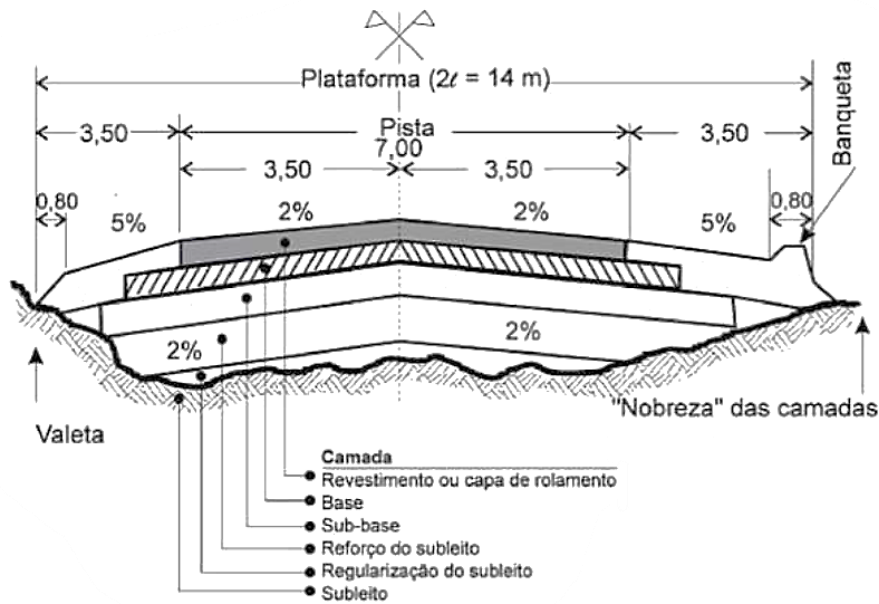
Fonte: SANTANA, 1993.

As camadas que constituem a estrutura do pavimento têm a função de dissipar (resistir) a tensão vertical aplicada na superfície, de tal maneira que o subleito receba uma parcela minorada desta tensão superficial (P_1). De acordo com Baldo (2007), a pressão resultante no subleito, é, geralmente, da ordem de um quinto da pressão de contato aplicada no topo do pavimento. Além do mais, é exigida da superfície do pavimento uma coesão mínima de sorte que a mesma resista a atuação da tensão horizontal solicitante durante o carregamento.

2.1.4 Camadas

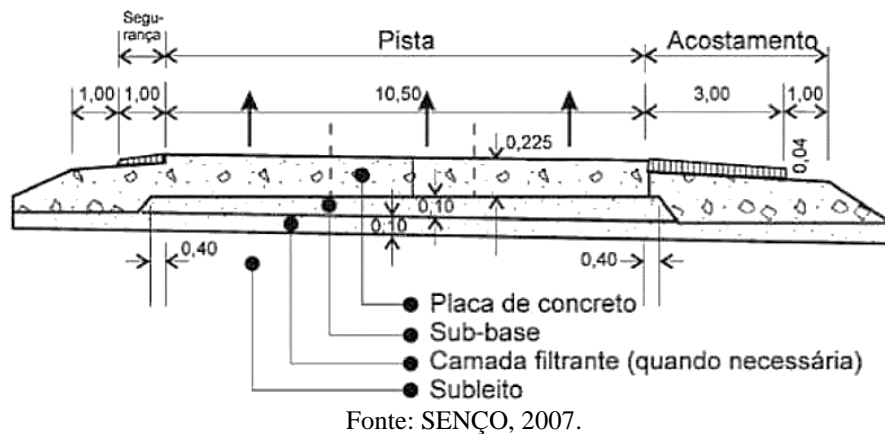
De acordo com Senço (2007) uma típica seção transversal de um pavimento flexível, conforme apresentado na Figura 3, contendo todas as camadas possíveis, constitui-se de: subleito, regularização e reforço do subleito, sub-base, base e revestimento.

Figura 3 – Típica seção transversal de um pavimento flexível



Na Figura 4 é apresentada uma típica seção transversal de um pavimento rígido, constituída de subleito, camada filtrante quando considerada necessária, sub-base e placa de concreto.

Figura 4 – Típica seção transversal de um pavimento rígido



O Subleito é definido como o terreno de fundação do pavimento. Somente a camada próxima da superfície é considerada subleito, ou seja, até uma determinada profundidade onde atuam, significativamente, as cargas provenientes do tráfego. À medida que se adentra no maciço, as pressões exercidas são reduzidas a ponto de se tornarem desprezíveis (SENÇO, 2007). Segundo o mesmo autor, considera-se como fundação efetiva a camada entre um e um metro e meio de profundidade, aproximadamente.

A Regularização é uma camada, de espessura irregular, construída sobre o subleito que tem como função compatibilizar, transversal e longitudinalmente o traçado da via de acordo com o projeto. Sua necessidade deverá ser avaliada e, compreende, basicamente, cortes e aterros. A grosso modo pode ser considerado como um nivelamento do subleito (MARQUES, 2010).

O reforço do subleito, segundo Marques (2010) é uma camada de espessura constante, construída, caso haja necessidade, acima da regularização que apresenta especificações técnicas superiores às da regularização e inferiores às camadas imediatamente superiores. Em suma, o reforço do subleito pode ser considerado como a camada suplementar do subleito ou a camada complementar da sub-base.

A Sub-base é a camada complementar à base, quando economicamente e ou tecnicamente não for recomendado construir a base diretamente sobre a regularização ou reforço do subleito (BALDO, 2007). Via de regra, os materiais que constituem uma camada obedecem a uma hierarquia, ou seja, o material integrante da sub-base deverá apresentar características e especificações técnicas superiores às do material de reforço, logo, o material da base deverá possuir qualidade superior ao material da sub-base e assim por diante.

A Base é a camada projetada a fim de suportar aos esforços verticais solicitantes oriundos do tráfego e distribuí-los para as demais camadas inferiores (BALDO, 2007). Simplificadamente, o pavimento pode ser composto de base e revestimento, sendo tecnicamente conveniente, ou não, a complementação da base pela sub-base e reforço do subleito.

Segundo o mesmo autor, o revestimento também denominado de capa de rolamento ou, apenas, capa é uma camada impermeável, que recebe diretamente a ação das cargas, estáticas ou dinâmicas, provenientes do tráfego, sem sofrer grandes deformações elásticas ou plásticas, degradação de componentes ou, ainda, perda de compactação. Os materiais que compõem o revestimento devem apresentar boa aglutinação ou serem dispostos de maneira a evitar a movimentação horizontal. É uma camada designada a melhorar a superfície de rolamento em relação às condições de segurança e conforto, além de resistir ao desgaste, aumentando a durabilidade da estrutura.

A resistência de uma camada de revestimento pode ser calculada através de diversos métodos de dimensionamento. Sendo assim, por exemplo, no método CBR – *California Bearing Ratio* ou ISC – Índice de suporte Califórnia, a resistência da camada é calculada através de um ensaio de laboratório preconizado pela NBR 9895 Solo - Índice de suporte Califórnia (ABNT, 2017) em que é medido a resistência à penetração de um pistão na amostra de solo, relacionando-se com a resistência oferecida por um material considerado padrão, ao qual se atribui um CBR = 100%, obtém-se o CBR da amostra, em porcentagem. Considerando as especificações tradicionais para a construção de pavimentos asfálticos do DNIT, dado o valor do CBR e expansão do solo, de acordo com certos limites e camada, determina-se a espessura, a necessidade de reforço, substituição de material entre outros aspectos relacionados ao dimensionamento da camada (DNIT, 2006).

No processo de dimensionamento de um pavimento, é realizado uma avaliação de quais camadas deverão ser construídas, logicamente que subleitos de boa qualidade resultam em pavimentos mais esbeltos, no passo em que podem dispensar camadas como sub-base ou reforço do subleito (MORAES *et al.*, 2006).

2.1.5 Classificação dos pavimentos

O pavimento é uma estrutura constituída de várias camadas, o que dificulta seriamente a classificação em um termo que possa definir a estrutura por completo. Simplificadamente, pode-se adotar a terminologia e classificação de pavimentação da NBR 7207 - Terminologia e classificação de pavimentação (ABNT, 1982).

De modo geral, os pavimentos poderiam ser classificados em pavimentos rígidos e flexíveis, embora alguns autores adotam uma terceira classificação, pavimentos semirrígidos e/ou semiflexíveis se tratando de estruturas mistas.

2.1.5.1 Pavimento rígido

Os pavimentos rígidos apresentam baixa deformabilidade, são compostos majoritariamente de concreto de cimento. Quando submetidos a deformações, rompem devido a tração na flexão (SENÇO, 2007). Para Medina (1997) um pavimento rígido é composto por um revestimento betuminoso sobre uma base granular ou de solo estabilizado granulometricamente.

2.1.5.2 Pavimento flexível

Pavimentos flexíveis são aqueles que toleram deformações, até um determinado limite, não havendo rompimento. Geralmente são dimensionados a tração na flexão e a compressão, oriundas das bacias de deformação sob as rodas dos veículos, que acarretam a deformações permanentes, e ao rompimento por fadiga (SENÇO, 2007). De acordo com Medina (1997) um pavimento flexível é constituído por placas de concreto (usualmente não armadas) assentes sobre o solo de fundação ou sub-base intermediária.

2.1.5.3 Estruturas mistas

Não há empecilhos na execução de uma camada de revestimento flexível sobre uma camada de base rígida. A possibilidade de utilização de camadas flexíveis e rígidas na mesma estrutura de um pavimento, dificulta a adoção de uma classificação binária (SENÇO, 2007). Portanto, existem autores como Medina (1997) que optam por utilizar termos como semirrígido ou semiflexível ao se referir as estruturas mistas. Nos Quadros 1 e 2 são apresentados as principais bases e revestimentos que podem constituir a estrutura de um pavimento.

Quadro 1 – Terminologia das bases

Bases	Rígidas	Concreto de cimento	
		Macadame de cimento	
		Solo-cimento	
	Flexíveis	Solo estabilizado	Granulometricamente
			Solo-betume/ Solo-cal
			Solo-brita
		Macadame hidráulico	
		Brita graduada com ou sem cimento	
		Macadame betuminoso	
		Alvenaria poliédrica	Por aproveitamento
		Paralelepípedos	

Fonte: SENÇO, 2007.

Quadro 2 – Terminologia dos revestimentos

Revestimentos	Rígidos	Concreto de cimento				
		Macadame de cimento				
		Paralelepípedos rejuntados com cimento				
	Flexíveis	Betuminosos	Concreto betuminoso		Usinados	
			Pré-misturados a quente			
			Pré-misturados a frio			
		Tratamento superficial	Penetração direta	Simplex		
			Penetração invertida	Duplo Triplo Quádruplo		
		Calçamentos	Alvenaria poliédrica			
			Paralelepípedos			
Blocos de concreto pré-moldados articulados						

Fonte: SENÇO, 2007.

Dentre as bases rígidas, de acordo com Senço (2007) e Baldo (2007) destacam-se o concreto de cimento, macadame de cimento e o solo de cimento. A seguir é pormenorizado cada uma dessas definições.

- **Concreto de cimento**, base rígida cuja dosagem, convenientemente, prevista em projeto é constituída de agregado graúdo, areia, cimento e água. É caracterizada como uma base tipicamente rígida, uma placa de concreto de cimento que desempenha a função tanto de base quanto revestimento.
- **Macadame de cimento**, base constituída de agregado graúdo – DMC entre 50 mm e 90 mm – no qual um material que apresenta granulometria mais fina preenche os vazios, esse material de preenchimento além de conceder o travamento dos pedregulhos, quando misturado com cimento, garante uma razoável ligação entre os elementos.
- **Solo cimento**, mistura de solo apropriado, cimento e água em proporções predeterminadas. Quando, apropriadamente, uniformizada e compactada satisfaz as exigências para atuar como base de pavimento.

Dentre as bases flexíveis, de acordo com Senço (2007) e Baldo (2007) destacam-se o solo estabilizado, o macadame hidráulico, a brita graduada, macadame betuminoso e a base de paralelepípedos e alvenaria poliédrica. A seguir é apresentado uma breve definição de cada uma das camadas citadas anteriormente.

- **Solo estabilizado**, camada constituída de solo que satisfaz dadas especificações em relação a granulometria, limite de liquidez e índice de plasticidade onde a estabilização pode ser natural ou artificial. Quando a estabilização é obtida através da própria granulometria dos grãos, a base recebe o nome de base estabilizada granulometricamente, quando é obtida por meio de adição de pedra britada, a camada é batizada de solo brita. Por fim, quando a estabilização decorre da adição de aglutinante, como o asfalto, por exemplo, a base recebe o nome de solo asfalto ou ainda solo betume
- **Macadame hidráulico**, base flexível identificada por apresentar uma ou mais camadas compostas por pedra britada e material de enchimento o qual sua introdução nos vazios do agregado graúdo é realizada como auxílio de água – daí o nome macadame hidráulico. Ao enchimento atribui-se as funções de travar as pedras e, eventualmente, agir como aglutinante.
- **Brita graduada**, base resultante da mistura realizada em usina de agregado de antemão dosado, contendo material de enchimento, água e ocasionalmente aglomerante. Resguardadas as proporções quanto à granulometria pode-se substituir o macadame hidráulico apresentando grande vantagem no que se diz respeito ao processo construtivo.
- **Macadame betuminoso**, conhecida como base negra é composta a partir da superposição de camadas, de espessura estabelecida em projeto, de agregados interligadas por meio de material betuminoso.
- **Bases de paralelepípedos e de alvenaria poliédrica**, correspondem ao reaproveitamento, como base, os revestimentos de leitos de estradas antigas que passaram a ser recapeadas com misturas betuminosas, podendo ser classificadas como bases flexíveis.

Revestimentos rígidos são aqueles constituídos dos mesmos materiais das bases rígidas que, por via de regra, é o concreto de cimento. Que apresenta condições de resistir aos

esforços horizontais solicitantes e distribuir os esforços verticais à sub-base e demais camadas (SENÇO, 2007). Paralelepípedos rejuntados com cimento, por exemplo, pode ser considerado um revestimento rígido, o preenchimento das juntas com argamassa de cimento e areia que confere ao conjunto uma certa rigidez, que justifica sua classificação.

Revestimentos flexíveis são aqueles que há o emprego de um aglutinante, o betume, seja asfáltico ou o alcatrão são também chamados de revestimento betuminosos dois quais, de acordo com Senço (2007) e Baldo (2007), destacam-se: o concreto betuminoso, os pré-misturados a quente e a frio, os tratamentos superficiais e o calçamento.

- **Concreto betuminoso** ou concreto betuminoso usinado a quente, é considerado o mais nobre dos revestimentos betuminosos. Constitui-se de uma mistura de agregado e betume, precisa e rigorosamente dosados, feita em usina, com rígido controle de teor de betume, granulometria, temperaturas do agregado e do betume, transporte, aplicação e compressão. Em virtude disso, o concreto betuminoso tem sido a opção preferida de revestimento das autoestradas e vias expressas.
- **Pré-misturados a quente**, embora seja uma mistura, em usina, de agregado e betume, as especificações quanto à granulometria, estabilidade e índice de vazios são menos rigorosas do que as do concreto betuminoso. No pré-misturados a quente, o agregado é aquecido até uma temperatura próxima a temperatura do betume, a expressão “a quente” refere-se a uma exigência quanto ao agregado.
- **Pré-misturados a frio**, define-se como uma mistura de agregado e alcatrão ou asfalto, onde o agregado é empregado sem aquecimento prévio, ou seja, à temperatura ambiente. É considerado um produto menos nobre que o pré-misturado a quente e o concreto betuminoso.
- **Tratamentos superficiais** consistem na aplicação de uma ou mais camadas de agregado ligados por pinturas betuminosas. O tratamento superficial é de penetração direta quando a pintura de betume é aplicada sobre a camada de agregado ou penetração invertida quando a aplicação da pintura betuminosa é sob a camada de agregado. Além do mais um tratamento superficial podem ser, simples, duplo, triplo (o mais utilizado para pavimentação) ou quadruplo, referindo-se ao número de camadas de agregado e pinturas de betume.

- **Calçamento**, como o próprio nome diz é um revestimento constituído pelo assentamento de blocos de concreto, ou pedras naturais sobre base de areia ou solo natural, rejuntadas com material betuminoso. Como exemplo tem-se paralelepípedos (blocos de concreto em formato de paralelepípedo), alvenaria poliédrica (mosaico de pedras irregulares) e blocos de concreto pré-moldados.

2.2 SOLOS TROPICAIS

2.2.1 Definição

Em 1996, Nogami no boletim nº 153 da Associação Brasileira de Pavimentação, posteriormente citado por Venturine (2015), caracteriza os solos tropicais segundo a conceituação astronômica, ou seja, seria considerado solo tropical aquele compreendido no intervalo entre os trópicos de Câncer e Capricórnio.

Todavia, segundo Barroso (2002) podem ser encontrados solos, embora situados entre os trópicos, que devido exposição a diferentes condições geológicas e climáticas, apresentem diferentes propriedades. Originando uma classificação climática, na qual afirma-se que os solos tropicais ocorrem em regiões de clima quente e úmido.

Entretanto, os solos transportados – solos de dunas, aluviais, tálus etc– mesmo que possam ser encontrados na zona climática tropical quente e úmida não são considerados solos tropicais. Portanto Nogami e Villibor, em 1995, estabelecem que solo tropical é aquele que, comparado aos demais tipos de solo, apresenta particularidades quanto as suas propriedades, devido a atuação de processos pedológicos e geológicos no mesmo, próprios das regiões tropicais úmidas. Isto posto, um solo é considerado como tropical, se possuir peculiaridades geotécnicas de interesse e não apenas ter sido formado ou encontrado em uma região de clima tropical úmida (NOGAMI & VILIBOR, 2009).

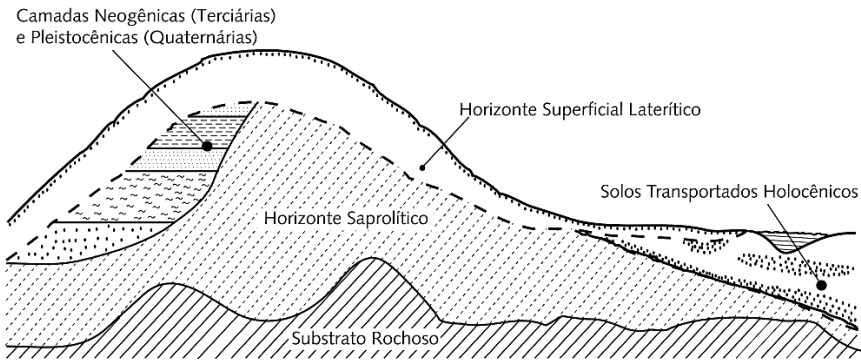
Os solos tropicais embora apresentem características tão peculiares, o que dificulta uma abordagem generalista, Cozzolino e Nogami (1993), os agruparam em duas classes, os solos lateríticos (L) e os solos não lateríticos (N).

2.2.2 Solos lateríticos

Segundo Dias (2007), os solos lateríticos compõem a camada superficial das áreas bem drenadas das regiões tropicais úmidas, sua espessura frequentemente ultrapassa dois metros

embora raramente possa ultrapassar dez metros de profundidade, são altamente lixiviados e intemperizados, compostos pelos horizontes pedológicos A e B e apresentam predominantemente a cor vermelha ou amarela (Figura 5).

Figura 5 – Perfil esquemático de ocorrência de solos em ambiente tropical



Fonte: VILLIBOR *et al.*, 2009.

Mineralogicamente, a fração de areia é caracterizada pela presença de magnetita, ilmetita, zircão e outros minerais, os grãos apresentam alta resistência mecânica e química. Já na fração da argila ocorre elevada quantidade de partículas compostas de óxidos e hidróxidos de alumínio e ferro, também conhecidos como argilominerais laterizados (CABRAL, 2018). Os óxidos de ferro e alumínio hidratados possuem propriedades cimentantes, auxiliando na formação de agregados e concreções lateríticas (DIAS, 2007). Segundo Cozzolino e Nogami (1993) os grãos mais finos quando agregados formam uma massa de aspecto esponjoso cujos elementos constituintes lembram pipocas, na escala macroscópica, os torrões podem apresentar alta resistência à ação hídrica.

No início da década de 50, segundo Nogami e Villibor (2009), Francisco Pacheco e Silva, engenheiro do IPT, foi pioneiro na utilização de argila laterítica compactada, protegida de ambos os lados por pintura betuminosa, na base do pavimento de um trecho de acesso a cidade de Campinas, São Paulo. O desempenho da base constituída de solo laterítico foi considerado excepcional comparada as demais bases de pedra britada, comum na época, abrindo caminho para a utilização de solo laterítico na pavimentação.

Nos primeiros estudos sobre o solo laterítico na pavimentação, esse tipo de solo tropical foi aplicado no subleito, reforço do subleito, sub-base e base, utilizando-o isoladamente ou em misturas solo-cimento, solo-brita, ou ainda solo-cal, usufruindo da elevada capacidade de suporte e baixa expansibilidade das argilas lateríticas, obtiveram-se resultados promissores (DIAS, 2007).

2.2.3 Classificações geotécnicas tradicionais

As classificações ditas tradicionais, ou seja, desenvolvidas em países de clima predominantemente frio e temperado, são fundamentadas nos limites de Atterberg e na granulometria, conhecidos como propriedades-índice dos solos (SILVA, 2010). De acordo com Villibor *et al.* (2000), os principais parâmetros utilizados no dimensionamento das obras de pavimentação norte-americanas e europeias são os materiais pétreos, corriqueiramente encontrados na região e, as peculiaridades climáticas onde são executadas as obras, tais como: o congelamento e degelo do subleito, que mantem o teor de umidade do subleito superior ao calculado em laboratório. Por esse motivo, as análises são feitas levando em conta as propriedades-índice, pois é necessário um rígido controle do Limite de Liquidez (LL) e índice de plasticidade (IP) da fração fina do solo a fim de garantir uma boa drenagem do pavimento no período de degelo e resistir ao fenômeno de expansibilidade da água durante o congelamento.

As classificações geotécnicas comumente adotadas no Brasil são: o Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS) e para fins de pavimentação rodoviária, a *Transportation Research Board* (TRB) da *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO) – órgão estadunidense responsável pelas diretrizes de projeto e execução de rodovias nos Estados Unidos. Essas classificações e os seus parâmetros de dimensionamento de pavimentos empregam os critérios estabelecidos pelo seu país de origem que, predominantemente, apresenta clima frio e temperado.

Todavia, o Brasil apresenta clima e solo, majoritariamente, tropicais que apesar da viabilidade técnica da maior parte dos pavimentos concebidos através dos métodos tidos como tradicionais, podem acarretar, na conjuntura atual, inviabilidade financeira devido aos elevados gastos no transporte de materiais granulares em comparação com o emprego de matérias regionais (NOGAMI & VILIBOR, 2009).

2.2.3.1 Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS)

Os solos na classificação SUCS são identificados de acordo com a textura, plasticidade e presença de matéria orgânica. Leva em conta a fração de solo, em porcentagem, que passa na peneira nº 200, a forma da curva granulométrica e a compressibilidade. Por essa classificação, os solos são divididos em 6 grupos: pedregulhos (G), areia (S), siltes inorgânicos e areias finas

(M), argilas inorgânicas (C), siltes e argilas orgânicas (O) e turfas (Pt), conforme representado no Quadro 3 (PINTO, 2006).

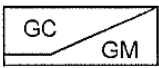
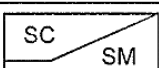
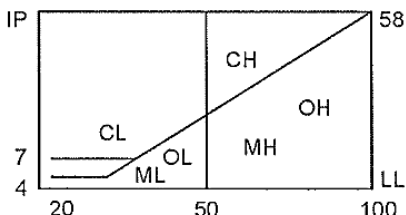
Quadro 3 – Significado das letras utilizadas na classificação SUCS

Tipo de solo predominante	Dados complementares do solo
G – Pedregulho	W – Bem graduado
S – Areia	P – Mal graduado
M – Silte	H – Alta compressibilidade
C – Argila	L – Baixa compressibilidade
O – Orgânico	
Pt – Turfas	

Fonte: PINTO, 2006.

Além disso, quando a fração predominante do solo é grossa é necessário para a classificação conhecer as seguintes propriedades-índices: o Coeficiente de Curvatura (CC) e o Coeficiente de não Uniformidade (CNU), que estão relacionados com a granulometria, e no caso dos solos finos, o conhecimento requerido é a carta de plasticidade de Casagrande (PINTO, 2006). Por fim, o solo é classificado por duas letras, conforme representado na Figura 6, onde a primeira letra é o tipo do solo e a segunda é o dado complementar do mesmo.

Figura 6 – Esquema para classificação pelo SUCS

% P #200 < 50	G > S : G	% P #200 < 5	GW CNU > 4 e 1 < CC < 3
			GP CNU < 4 ou 1 > CC > 3
		% P #200 > 12	GC GM 
		5 < #200 < 12	GW-GC, GP-GM, etc.
	S > G : S	% P #200 < 5	SW CNU > 6 e 1 < CC < 3
			SP CNU < 6 ou 1 > CC > 3
% P #200 > 12		SC SM 	
	5 < #200 < 12	SW-SC, SP-SC, etc.	
% P #200 > 50	C	CL	
		CH	
	M	ML	
		MH	
	O	OL	
	OH		

Fonte: PINTO, 2006.

2.2.3.2 Sistema de classificação de solos pela *Transportation Research Board* (TRB)

Outra classificação considerada tradicional é a *Transportation Research Board* (TRB) da AASHTO, popularmente adotada nas obras rodoviárias. A metodologia complementa as propriedades-índice, inserindo o Índice de Grupo (IG) que define a capacidade de suporte do terreno de fundação do pavimento rodoviário. O IG é um número inteiro compreendido no intervalo de 0 a 20, é baseado nos limites de Atterberg e na porcentagem dos finos passantes na peneira nº 200 (DNIT, 2006). O IG pode ser calculado pela Equação 1:

$$IG = 0,2a + 0,005ac + 0,01bd \quad (1)$$

Onde o valor das incógnitas é obtido através das seguintes análises:

a = porcentagem do solo que passa na peneira nº 200 menos 35%. Se o valor de “ a ” for negativo adota-se zero, e se for superior a 40, adota-se este valor como limite máximo (Equação 2).

$$a = P_{200} - 35\% \quad (2)$$

b = porcentagem do solo que passa na peneira nº 200 menos 15%. Se o valor de “ b ” for negativo adota-se zero, e se for superior 40, adota-se este valor como limite máximo (Equação 3).

$$b = P_{200} - 15\% \quad (3)$$

c = valor do limite de liquidez menos 40%. Se o valor de “ c ” for negativo adota-se zero, e se for superior a 20, adota-se este valor como limite máximo (Equação 4).

$$c = LL - 40\% \quad (4)$$

d = valor do índice de plasticidade menos 10%. Se o valor de “ d ” for negativo adota-se zero, e se for superior a 20, adota-se este valor como limite máximo (Equação 5).

$$d = IP - 10\% \quad (5)$$

O TRB classifica os solos em oito grupos, de A-1 a A-8, contudo não se atém ao tipo de solo. Os três primeiros (A-1 a A-3) são classificados como materiais granulares tidos de excelente a bom como material de subleito. Os grupos A-4 e A-5 são siltosos, A-6 e A-7 argilosos considerados de regular a mau para emprego no subleito dos pavimentos. O grupo A-8 abrange os solos com grande concentração de matéria orgânica, esses são descartados em obras de pavimentação (SILVA, 2010). A Tabela 1 exhibe o sistema de classificação TRB.

Tabela 1 – Sistema de classificação de solos pela TRB

Classificação Geral	Solos granulares (% passante na #200 ≤ 35)							Solos finos (% passante na #200 > 35)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 A-7-6
Classificação em Grupos e Subgrupos	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Granulometria (% passante na peneira)											
#10	50 máx.										
#40	30 máx.	30 máx.	51 máx.								
#200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 máx.	36 máx.	36 máx.	36 máx.
Consistência (fração passante na #n°40)											
LL				40 máx.	41 máx.	40 máx.	41 máx.	40 máx.	41 máx.	40 máx.	41 máx.
IP	6 máx.	6 máx.	NP	10 máx.	10 máx.	11 máx.	11 máx.	10 máx.	10 máx.	11 máx.	11 máx.
Índice de grupo	0	0	0	0	0	4 máx.	4 máx.	8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.
Materiais constituintes	Fragmentos de pedra, pedregulho fino e areia			Pedregulho ou areias siltosas				Solos siltosos		Solos argilosos	
Comportamento como subleito	Excelente a bom							Sofrível a mau			

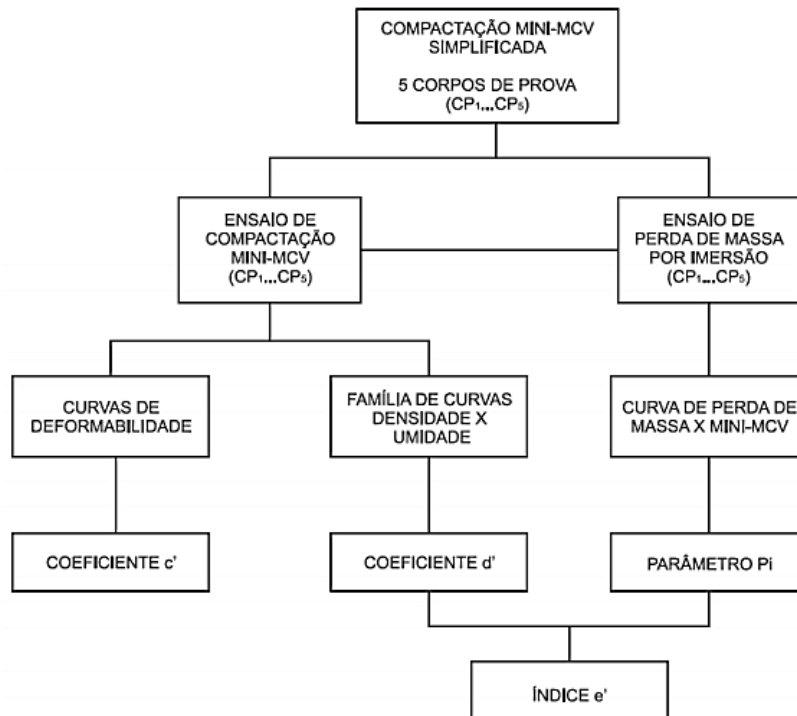
Fonte: DNIT, 2006 (adaptado).

2.2.4 Metodologia MCT de caracterização de solos tropicais

Tendo em vista as deficiências e imprecisões na aplicação das classificações tradicionais em solos tropicais, Nogami e Villibor em 1995, a fim de aperfeiçoar a

caracterização e identificação dos solos considerados tropicais, apresentaram um modelo refinado de classificação denominada MCT (Miniatura Compacta Tropical), que se baseia em um conjunto de procedimentos e ensaios que simulam as condições encontradas em campo as quais as camadas de solo tropical compactadas estariam submetidas, onde obtém-se as propriedades geotécnicas, mecânicas e hidráulicas do solo. A metodologia MCT é determinada através dos ensaios de compactação mini-MCV e perda de massa por imersão, a Figura 7 apresenta um fluxograma dos ensaios realizados método MCT. (NOGAMI & VILLIBOR, 2009).

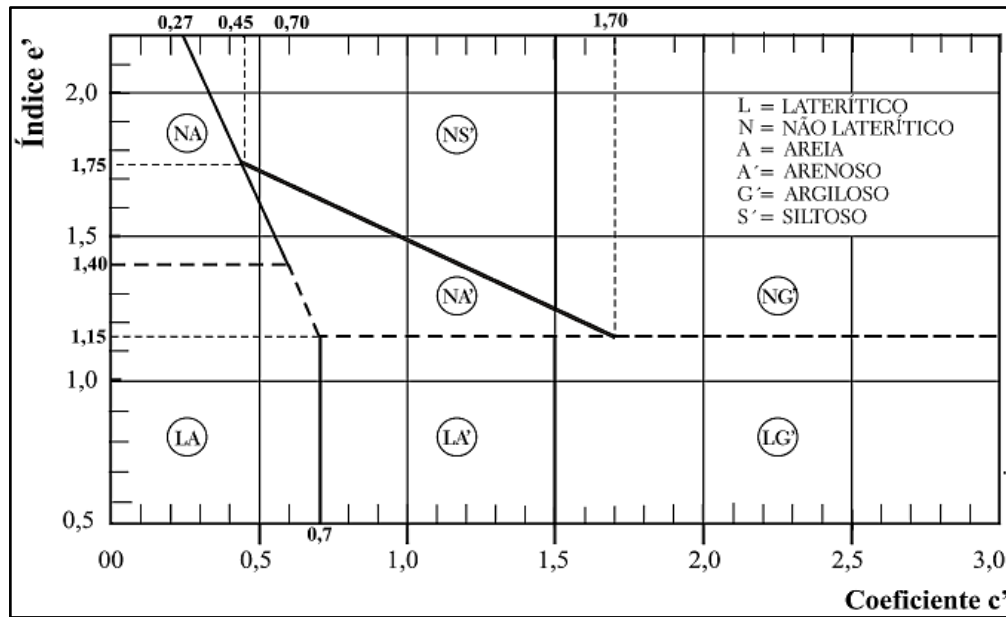
Figura 7 – Fluxograma de ensaios e dados da classificação MCT



Fonte: CABRAL, 2018.

Obtidos os resultados dos ensaios que compõem a metodologia MCT, é possível, a partir do gráfico apresentado na Figura 8, distinguir os solos de comportamento laterítico dos solos de comportamento não laterítico. Neste gráfico, no eixo das abscissas são plotados o coeficiente c' , e no eixo das ordenadas, o índice e' .

Figura 8 – Gráfico da classificação de solos pelo sistema MCT



Cozzolino e Nogami (1993) propuseram dois grupos de solos que podem apresentar comportamento laterítico (L) ou comportamento não laterítico (N), dentre os quais se encontram os solos saprolíticos. Na classificação MCT, conforme apresentado no Quadro 4, os solos lateríticos são subdivididos em três subclasses: areias lateríticas quartzosa (LA), solos arenosos lateríticos (LA') e solos argilosos lateríticos (LG'). Os solos saprolíticos divididos em quatro subgrupos: areias não lateríticas com predominância de grão de quartzo e/ou mica (NA), solos arenosos não lateríticos (NA'), solos siltosos não lateríticos (NS') e solos argilosos não lateríticos (NG).

Quadro 4 – Significado das letras utilizadas na classificação MCT

Solos lateríticos (L)	Solos saprolíticos (N)
LA – Areias lateríticas quartzosa	NA – Areias não lateríticas compostas de grão de quartzo e/ou mica
LA' – Solos arenosos lateríticos	NA' – Solos arenosos não lateríticos
LG' – Solos argilosos lateríticos	NS' – Solos siltosos não lateríticos
	NG – Solos argilosos não lateríticos

Fonte: COZZOLINO & NOGAMI, 1993 (adaptado).

Os solos de comportamento laterítico cujas propriedades são de interesse da engenharia de pavimentos apresentam: elevada capacidade de suporte quando ensaiados no

Mini-CBR (ensaio CBR executado em corpo de prova de dimensões reduzidas), pequena perda desta capacidade por imersão em água e baixa expansão volumétrica (SILVA, 2010).

Segundo relata Bernucci *et al* (2008), o Índice de Suporte Califórnia (ISC), em português, ou *California Bearing Ratio* (CBR) em inglês, é um ensaio que foi desenvolvido na Califórnia na década de 1920. O índice é expresso em porcentagem e consiste na relação entre a pressão necessária para penetrar um pistão em um corpo de prova e a pressão necessária para se penetrar o mesmo pistão no material de referência.

Segundo o autor anteriormente citado, nos Estados Unidos, o ensaio por não considerar o efeito causado pelas cargas dinâmicas de tráfego, foi progressivamente caindo em desuso. No Brasil ainda é adotado, conforme o Manual de Pavimentação do DNIT (2006) estabelece, há limites de CBR e expansão que, avaliam a recomendação da aplicabilidade do solo nas camadas do pavimento.

No Quadro 5 são apresentados os valores das propriedades dos diversos grupos da classificação MCT, incluindo o nível de prioridade dos solos para o uso em pavimentação, correlação com ensaio CBR.

Quadro 5 – Prioridade dos solos para o uso em pavimentação

DESCRIÇÃO		GRANULOMETRIAS TÍPICAS							
k = caolinítico s = sericítico m = micáceo q = quartzo		areias siltes (q, s)	areias silteosas	siltes (k, m) siltes arenosos	argilas argila arenosa argila silteosa siltes argilosos	areias	areias argilosas	argilas argila arenosa argila silteosa siltes argilosos	
COMPORTAMENTO		N = Não Laterítico				L = Laterítico			
GRUPO MCT		NA	NA'	NS'	NG'	LA	LA'	LG'	
PROPRIEDADES	Mini-CBR (%)	Sem imersão	M, E	E	M, E	E	E	E, EE	E
		Perda por imersão	B, M	B	E	E	B	B	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 E = Elevado M = Médio B = Baixo							
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 recomendável									

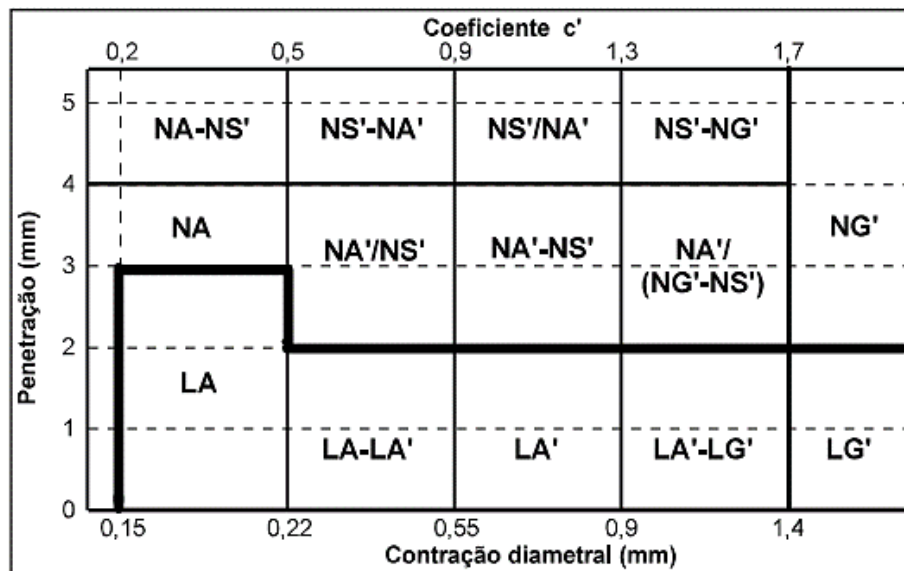
Fonte: VILLIBOOR & NOGAMI, 2009 (adaptado).

2.2.4.1 Método das pastilhas para identificação expedita do grupo MCT

O método expedito das pastilhas foi apresentado por Fortes e Nogami em 1990, visando a simplificação da classificação dos solos tropicais, posteriormente, em 1991 Nogami e Villibor revisaram o método a fim de possibilitar a identificação dos grupos MTC. Introduziram o gráfico de contração diametral versus penetração, proporcionando a avaliação de deformabilidade, permeabilidade e a classificação MCT (FORTES, 1997). A metodologia apresenta rápida e prática obtenção de resultados. Sendo estes coerentes, fundamentados em índices empíricos e determinações qualitativas podendo ser facilmente executada em campo (GUERRA *et al.*, 2014).

O método das pastilhas consiste na moldagem de corpos de prova em anéis de aproximadamente 20mm de diâmetro interno e 5mm de altura. Avalia-se a expansão ou contração diametral e a penetração após a reabsorção de água. A classificação MCT do solo é dada através da análise dos resultados de contração e penetração com o auxílio da Carta de Classificação do método das pastilhas apresentada na Figura 9 (SILVA, 2010).

Figura 9 – Carta de classificação do método das pastilhas



Fonte: FORTES *et al.*, 2002.

O coeficiente c' , o mesmo coeficiente utilizado na classificação MCT tradicional, é calculado, no método das pastilhas, através das Equações 6 e 7. Utiliza-se a Equação 6 para valores de C_d entre 0,1 mm e 0,5 mm; utiliza-se a Equação 7 para valores de C_d maiores do que 0,6 milímetros. C_d corresponde a contração diametral.

$$c' = \frac{(\log_{10} C_d + 1)}{0,904} \quad (6)$$

$$c' = \frac{(\log_{10} C_d + 0,7)}{0,5} \quad (7)$$

2.2.4.2 Ensaio de absorção de azul de metileno

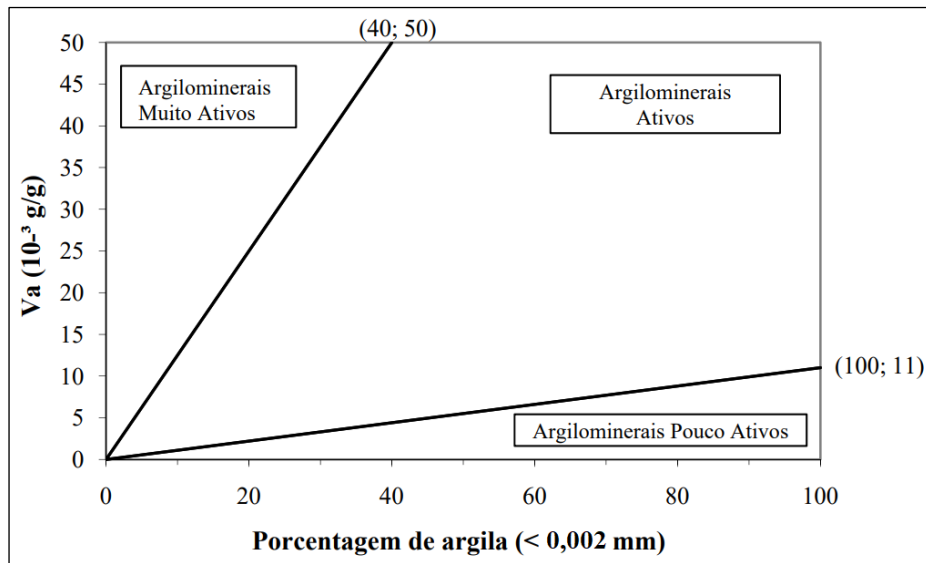
Cloridrato de metiltiamina, popularmente conhecido como azul de metileno, é um corante orgânico, que apresenta composição química $C_{16}H_{18}SN_3Cl \cdot 3H_2O$. Por se tratar de um corante catiônico, em solução aquosa, dissocia-se em ânions cloreto e cátions “azul de metileno”. Logo, na mistura de solo mais solução aquosa de azul de metileno, ocorre um processo de absorção irreversível, a substituição dos cátions Na^+ , Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} , H_3O^+ dos argilominerais pelo cátion “azul de metileno”, que forma uma camada monomolecular hidrofóbica superficial. A relação entre a superfície de contato do argilomineral e absorção de azul de metileno é proporcional (GUERRA *et al.*, 2014).

A quantidade e natureza mineralógica da fração de finos presente no solo influencia diretamente no seu comportamento volumétrico na estrutura do pavimento. Isto posto, o método da mancha permite a avaliação, de forma rápida e descomplicada, da capacidade de troca catiônica (CTC) da superfície específica do solo (SE) de acordo com o consumo de azul de metileno (Va) dos argilominerais presentes nesse solo.

Em 1994, fruto da tese de seu doutorado, Fabbri desenvolveu um ábaco a fim de caracterizar a fração fina presente no solo, conforme apresentado na Figura 10. O grau de atividade é dividido em três grupos, sendo eles: pouco ativo ($CA < 11$), ativo ($11 < CA < 80$) e muito ativos ($CA > 80$).

O ábaco é um gráfico cartesiano onde no eixo das abcissas encontra-se a porcentagem da fração de argila ($< 0,002mm$) e no eixo das ordenadas o valor de azul de metileno (Va), isto é, a quantidade de corante absorvido pelo solo.

Figura 10 – Ábaco para identificação do grau de atividade da fração de argila dos solos



Fonte: FABBRI, 1994.

A Tabela 2 apresenta grupos compostos pelos principais argilominerais e suas respectivas propriedades: superfície específica (SE), coeficiente de atividade (CA) e valores de azul de metileno (Va).

Tabela 2 – Classificação dos principais argilominerais

Grupo de Argilominerais	SE (m²/ml)	CA	Va (10⁻³g/g)	Grau de Atividade
Montmorilonita	860	350	350	Muito ativos
Vermiculitas	200	82	82	
Ilita	74	30	30	Ativos
Caulinita	48	20	20	
Laterizados	5	11	11	Pouco ativo

Obs.: Valores de azul de metileno para 1g de fração de argila.

Fonte: FABBRI, 1994.

Para avaliação da atividade da fração fina pelo método de Fabbri (1994) são necessários três parâmetros: a porcentagem de solo que passa na peneira 0,075 mm (# 200); o teor de argila que corresponde à porcentagem de solo inferior a 0,002 mm e o volume da solução-padrão de azul de metileno consumido pela fração fina de solo (Va).

Pode-se determinar a atividade da fração fina (mais especificamente, da argila) dos solos de duas maneiras. A primeira, utilizando o ábaco de Fabbri e dada a porcentagem de argila presente no solo, calcula-se o Valor de Azul (V_a) conforme a Equação 8,

$$V_a = V \times \left(1 + \frac{w}{100}\right) \times \frac{P_{200}}{100} \quad (8)$$

Onde:

V_a = Valor de azul de metileno consumida por 1g de amostra de solo passante na peneira nº 200 expresso em ml de solução- padrão por grama de solo, ou por 10^{-3} g de azul de metileno por g de solo (10^{-3} g/g de solo);

V = Volume de solução-padrão de azul de metileno adicionado à suspensão, expresso em ml;

w = Teor de umidade da amostra de solo ensaiada, passado na peneira 0,075 de malha nº 200;

P_{200} = Porcentagem de solo passante na peneira 0,075 de malha nº 200 dado em %.

A segunda opção é obter o valor do Coeficiente de Atividade (CA), utilizando o Tabela 2 para determinação do grau de atividade dos argilominerais. O valor do coeficiente de atividade (CA) é obtido pela Equação 9:

$$CA = \frac{V_a}{P_F} \times 100 \quad (9)$$

Onde:

CA = Coeficiente de atividade;

V_a = Valor de azul de metileno consumida por 1g de amostra de solo passante na peneira 0,075 de malha nº 200, expresso em ml de solução padrão por grama de solo;

P_F = Porcentagem que o solo apresenta da fração de argila ($< 0,002$ mm)

3 MATERIAS E MÉTODOS

Neste capítulo são apresentados os materiais e métodos utilizados na realização dos ensaios expeditos de métodos das pastilhas e da mancha de azul de metileno. Foram analisadas amostras de solo tropical do tipo laterítico e saprolítico. A metodologia adotada para realização dos ensaios das pastilhas foi descrita por Fortes *et al.* (2002) com adaptações de Silva (2010) e para o ensaio de azul de metileno foi adotado Fabbri (1994).

Ressalta-se que, devido ao fechamento dos laboratórios do Centro Tecnológico da UniEVANGÉLICA, em conformidade aos decretos estaduais que instituía medidas sanitárias extraordinárias para fins de prevenção e de enfrentamento à pandemia causada pelo novo Coronavírus (COVID-19), não pôde ser realizada a caracterização de novas amostras por meio do Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS) e da *Transportation Research Board* (TRB) e ensaios expeditos. A caracterização de solos pelo SUCS e TRB é advinda dos ensaios de granulometria, limite de liquidez e limite de plasticidade. A execução desses ensaios apresenta maior complexidade, além de demandar maior disponibilidade de tempo, que em virtude do fechamento do Centro Tecnológico foi impedida de ocorrer.

3.1 COLETA E PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS DE SOLO

Gomes, Ramos e Domingos (2019) coletaram duas amostras de solo, uma do horizonte laterítico e outra do horizonte saprolítico. Foram retirados cerca de 50kg de amostras deformadas de cada tipo de solo, por meio de escavação manual com auxílio de pás e enxadas. Uma pequena porção dessas amostras foram utilizadas para a realização dos ensaios expeditos do presente trabalho. O Quadro 6 apresenta o nome dos solos e a nomenclatura adotada.

Quadro 6 – Nomenclatura das amostras

Nome do Solo	Sigla
Goiânia Saprolítico	GYN-S
Itapuranga Laterítico	ITG-L

Fonte: AUTOR, 2021.

A amostra de solo do tipo saprolítico GYN-S, localizado nas coordenadas S 16°37'59.1096" e W49°11'4.5528", foi retirada a sete metros de profundidade na região leste da cidade de Goiânia-GO, próximo a BR 153, no Setor Recanto das Minas Gerais, conforme

apresentado na Figura 11. Pela análise tátil visual esse solo apresentou uma coloração rosada com mosqueados cinzas e fragmentos de rocha com pouca resistência ao manuseio, conforme apresentado na Figura 12 (GOMES; RAMOS; DOMINGOS, 2019).

Figura 11 – Localização da amostra de solo saprolítico



Fonte: GOMES; RAMOS; DOMINGOS, 2019.

Figura 12 – Local de retirada da amostra GYN-S



Fonte: GOMES; RAMOS; DOMINGOS, 2019.

A amostra de solo do tipo laterítico ITG-L, localizada nas coordenadas: S 15°33'13.3838" e W 49°46'5.6064" foi recolhida a dois metros de profundidade em um talude localizado às margens da GO 230, no km 13, na localidade de Itapuranga-GO, como mostra a

Figura 13. Conforme mostrado na Figura 14, o solo foi extraído da parte superficial de um perfil homogêneo, profundo e bem drenado. Pela análise tátil visual esse solo apresentou coloração avermelhada, textura pegajosa, fina, foi constatado a presença de torrões sem fragmentos de rocha (GOMES; RAMOS; DOMINGOS, 2019).

Figura 13 – Localização da amostra de solo laterítico



Fonte: GOMES; RAMOS; DOMINGOS, 2019.

Figura 14 – Local de retirada da amostra ITG-L



Fonte: GOMES; RAMOS; DOMINGOS, 2019.

Gomes; Ramos e Domingos (2019) realizaram a retirada dos solos de suas respectivas jazidas em seu estado natural. A secagem foi ao ar, espalhando o material em bandejas metálicas ou em lona plástica disposta na área interna do Centro Tecnológico da UniEVANGÉLICA. Onde, em sequência, foi realizado o processo de destorroamento, peneiramento e

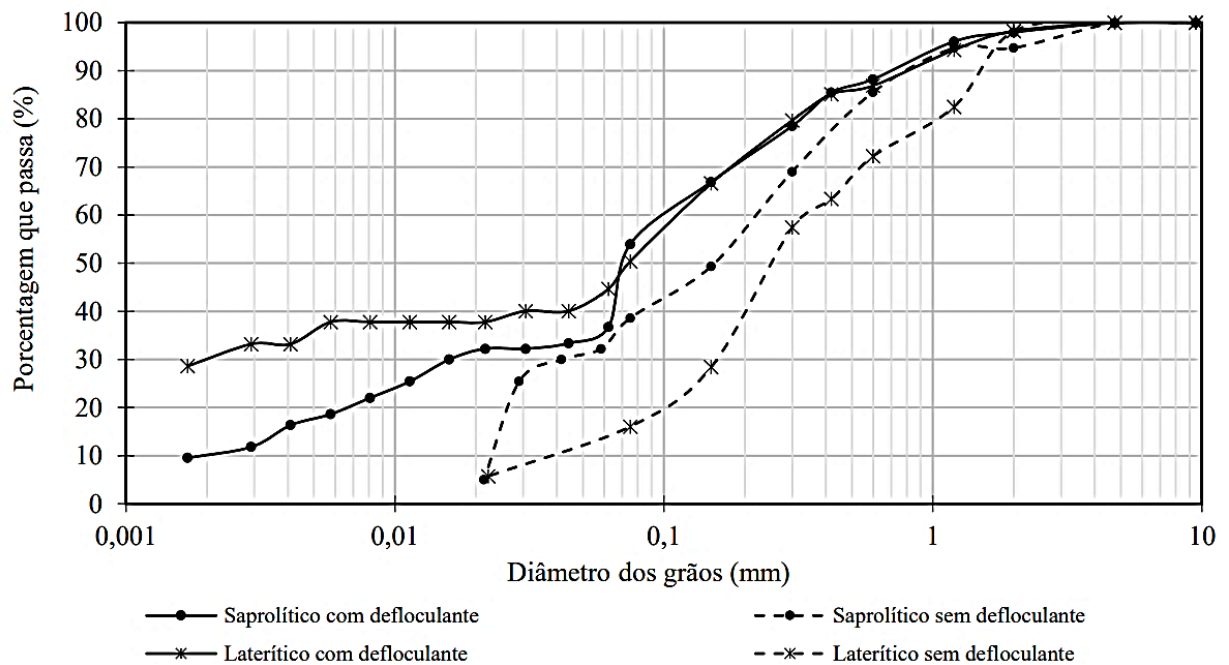
armazenamento em sacos plásticos. Posteriormente, os ensaios que possuíam normatização, foram preparados de acordo com a NBR 6457 (ABNT, 2016).

3.1.1 Resultados dos ensaios previamente realizados nas amostras de solo

Gomes, Ramos e Domingos (2019) realizam os ensaios de granulometria, limite de plasticidade e limite de liquidez, os dois últimos também conhecidos como limites de Atterberg. Os resultados de tais ensaios possibilitaram as autoras classificar e caracterizar as amostras de solo de acordo com Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS) e da *Transportation Research Board* (TRB).

Para a obtenção das curvas granulométricas, resultado do ensaio de granulometria, apresentadas na Figura 15, as autoras executaram os ensaios de peneiramento grosso, peneiramento fino e sedimentação com e sem o uso do defloculante (hexametáfosfato de sódio) tanto para o solo laterítico quanto para o solo saprolítico. A curva granulométrica fornece os dados necessários para obtenção dos resultados do ensaio azul de metileno.

Figura 15 – Curva granulométrica



Fonte: GOMES; RAMOS; DOMINGOS, 2019.

A Tabela 3 apresenta a representatividade das frações de argila, silte, areia e pedregulho, nos solos estudados. O solo laterítico foi classificado sem e com o uso de defloculante, respectivamente, como uma areia siltosa e uma areia argilosa. Já o solo saprolítico

foi enquadrado sem e com o uso de defloculante, respectivamente, como: areia siltosa e areia siltosa com pouca argila.

Tabela 3 – Porcentagem de cada fração granulométrica das amostras

Amostra	Defloculante	Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)	Pedregulho (%)
ITG-L	Presente	29,76	14,88	53,60	1,75
	Ausente	0	13,13	85,11	1,75
GYN-S	Presente	10,11	26,77	61,10	2,02
	Ausente	0	32,23	65,75	2,02

Fonte: GOMES; RAMOS; DOMINGOS, 2019 (adaptado).

A Tabela 4 apresenta os resultados obtidos através dos ensaios de limite de liquidez (LL), limite de plasticidade (LP), índice de plasticidade (IP) e classificação SUCS e TRB. Foi verificado que o índice de plasticidade (IP) do solo laterítico é menor que a do solo saprolítico, indicando que o solo laterítico estudado seria menos compressível e suscetível a variações de volume (GOMES; RAMOS; DOMINGOS, 2019).

Tabela 4 – Limites de Atterberg

Amostras	GYN - S	ITG - L
Limite de liquidez (LL)	44,00%	32,68%
Limite de plasticidade (LP)	29,40%	27,81%
Índice de plasticidade (IP)	14,60%	4,88%
SUCS	ML	ML
TRB	A-7-5	A-4

Fonte: GOMES; RAMOS; DOMINGOS, 2019.

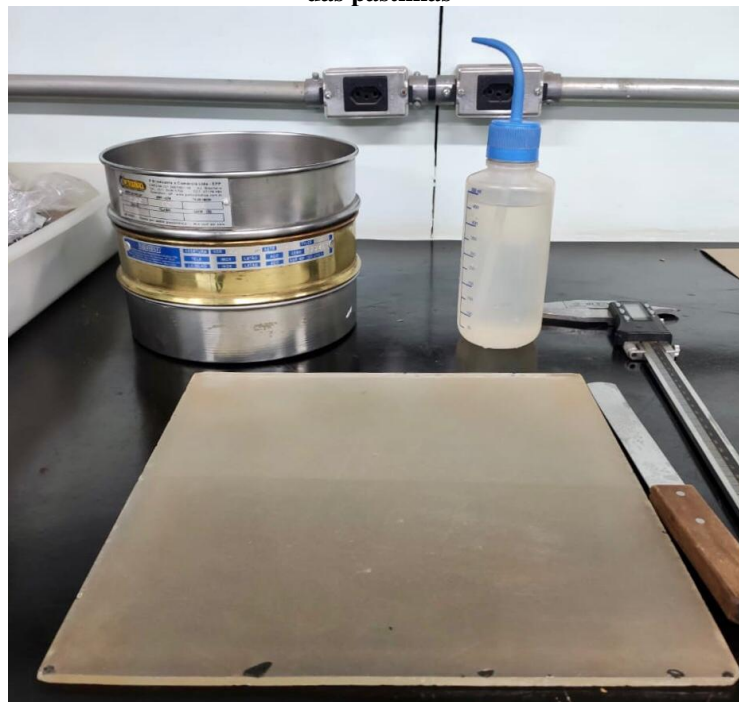
Pela classificação SUCS, ambos os solos foram designados como siltes de baixa compressibilidade (ML). Através da classificação TRB o solo laterítico foi classificado como um A-4 (solos siltosos) e o saprolítico como um A-7-5 (solos argilosos), ambos com desempenho de fraco a pobre quando empregados no subleito de um o pavimento.

3.2 IDENTIFICAÇÃO EXPEDITA DO SOLO PELO MÉTODO DAS PASTILHAS

A identificação MCT expedita do solo das amostras pelo método das pastilhas foi desenvolvida no Laboratório de Geotecnia do Centro Tecnológico do Centro universitário de Anápolis, UniEVANGÉLICA, com o auxílio de seus técnicos. A metodologia adotada foi a descrita por Fortes *et al.* (2002), com adaptações de Silva (2010).

A aparelhagem e materiais necessários para a realização do ensaio, além da aparelhagem usual de laboratório, são: anéis de PVC com diâmetro interno de, aproximadamente, 20 mm e 5,0 mm de altura; placa de vidro plano esmerilhado; paquímetro com precisão de 0,1 mm; espátula flexível; fio de nylon tensionado; peneiras de malha quadrada com aberturas nominais de 2,00 e 0,42 mm; penetrômetro padrão de 10 g de massa; agulha de 1,3 mm de diâmetro de ponta plana e uma cuba para reabsorção d'água pela pastilha, constituída essencialmente de uma placa porosa capaz de manter pressão negativa de aproximadamente 5 mm de coluna d'água. Pode ser visto na Figura 16 algumas dessas aparelhagens.

Figura 16 – Equipamentos essenciais para realização do ensaio das pastilhas



Fonte: AUTOR, 2021.

Inicialmente, o solo seco ao ar, até a umidade higroscópica, foi destorrado e passado nas peneiras de malhas quadradas com aberturas nominais de 2,00 e 0,42 mm. Da fração de solo passante da peneira de abertura de malha de 0,42 mm pesou-se 50 gramas de solo de cada

amostra (saprolítica e laterítica), que ao ser umedecido com água destilada foi deixado em repouso por 24h, recomenda-se no mínimo 8 horas (Figura 17). Ao final desse prazo, obteve-se uma pasta de solo que foi espatulada sobre placa de vidro esmerilhado, até que atingiu-se a consistência padrão, uma umidade tal que resulte em uma penetração de 1 mm do minipenetrômetro agulha de 10 gramas.

Figura 17 – Amostras umedecidas em repouso



Fonte: AUTOR, 2021.

O penetrômetro foi adaptado utilizando a ponta do aparelho de Vicat, instrumento utilizado para verificar pega de concreto. Visto que o diâmetro da ponta deste aparelho atende ao estabelecido pela metodologia, envolveu-se a parte superior com fita adesiva até atingir o peso especificado de 10 g, foi anexado um recorte de papel milimetrado para facilitar a leitura da penetração (Figura 18).

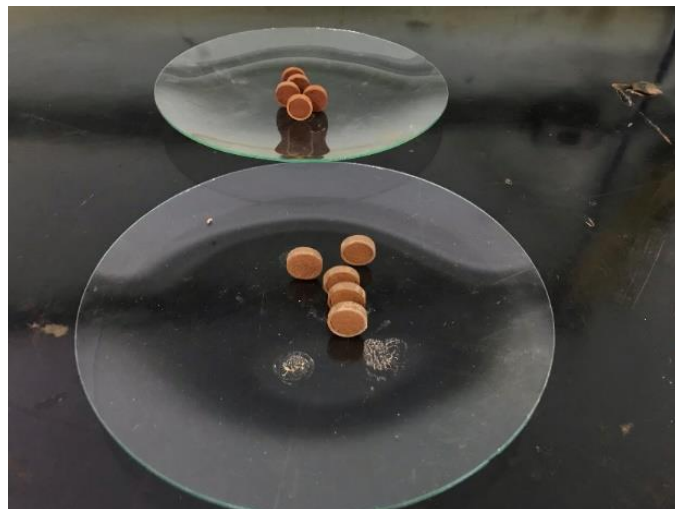
Foram moldadas cinco pastilhas de cada tipo de solo, fazendo-se um esferoide de aproximadamente 10mm de diâmetro, posicionando-o dentro do anel de PVC pressionou-se com o dedo para preencher o anel, o excesso foi cortado com o fio de nylon. Finalizada a etapa de moldagem das pastilhas, originalmente o método de Fortes *et al.*, (2002) indica a utilização de anel metálico e secagem em estufa a 60°C por 6 horas, contudo, foram adotadas as adaptações propostas por Silva (2010) e Correa *et al.* (2017) onde os corpos de provas foram submetidos à secagem ao ar por 12 horas, na posição vertical, em virtude do material constituinte dos anéis (PVC) não resistir a altas temperaturas (Figura 19). Após a secagem, foram realizadas três medições de contração diametral distanciados em cerca de 120° utilizando o paquímetro.

Figura 18 – Minipenetrômetro adaptado



Fonte: AUTOR, 2021.

Figura 19 – Secagem ao ar das pastilhas



Fonte: AUTOR, 2021.

Posteriormente, as pastilhas foram submetidas ao processo de reabsorção de água por um período de 2 horas na posição horizontal. É indicado a utilização de uma cuba para reabsorção d'água pela pastilha, constituída essencialmente de papel filtro saturado assente sobre uma placa porosa capaz de manter pressão negativa de aproximadamente 5 mm de coluna d'água (distância entre o nível d'água e a superfície superior da pastilha). Todavia, em razão da limitação de materiais presentes no laboratório no momento da execução dessa etapa, o processo de reabsorção foi adaptado utilizando uma superfície estanque, conforme apresentado na Figura 20.

Ao findar essa etapa, fez-se a penetração da pastilha. Posicionou-se a ponta da agulha do penetrômetro padrão rente à superfície da região central da pastilha e em seguida soltou-o na posição vertical em situação de queda livre até estabilizar o seu movimento. Foram realizadas 3 determinações de penetração em cada pastilha.

Figura 20 – Processo de reabsorção improvisado



Fonte: AUTOR, 2021.

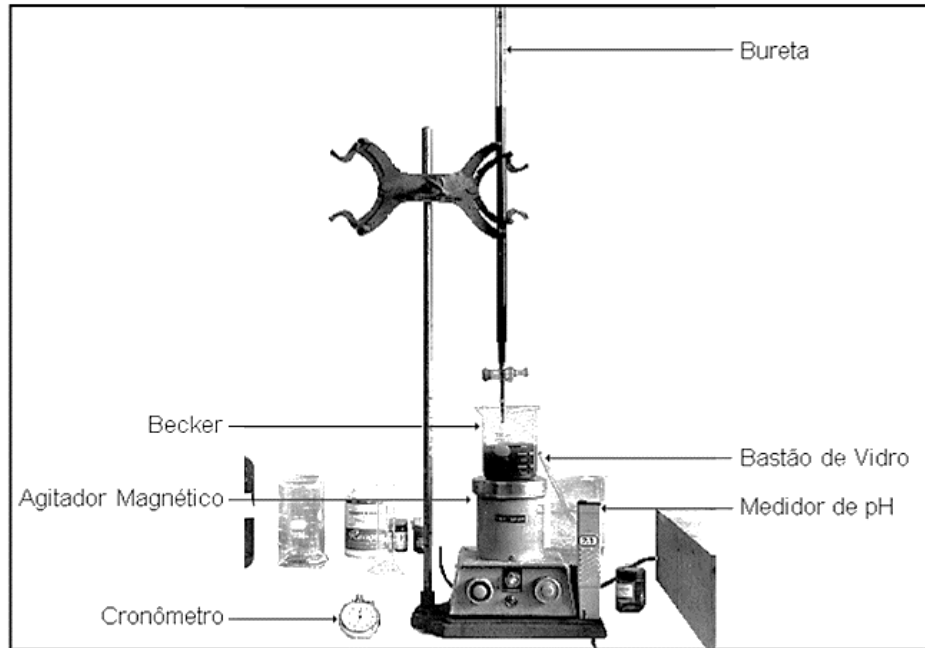
Os resultados obtidos de contração diametral e de penetração foram utilizados para alimentar a Carta de Classificação do Método das Pastilhas, apresentada na Figura 9, permitindo a identificação do grupo MCT ao qual o solo amostrado pertence.

3.3 ENSAIO DE ABSORÇÃO DE AZUL DE METILENO PELO MÉTODO DA MANCHA

O ensaio de absorção de Azul de Metileno pelo Método da Mancha tem por finalidade a determinação dos coeficientes de atividade das frações finas do solo ensaiado. O ensaio foi executado segundo os procedimentos descritos por Fabbri (1994), em virtude da inexistência de uma norma técnica padronizada por associação competente. Este ensaio foi executado no Laboratório de Geotecnia do Centro Tecnológico do Centro Universitário de Anápolis, UniEVANGÉLICA.

Fabbri (1994) detalhou a listagem dos materiais e aparelhagem bem como os procedimentos necessários para a realização do experimento. A Figura 21 apresenta, em suma, os equipamentos necessários para a realização do ensaio e a sua montagem.

Figura 21 – Equipamentos essenciais para realização do ensaio Azul de metileno



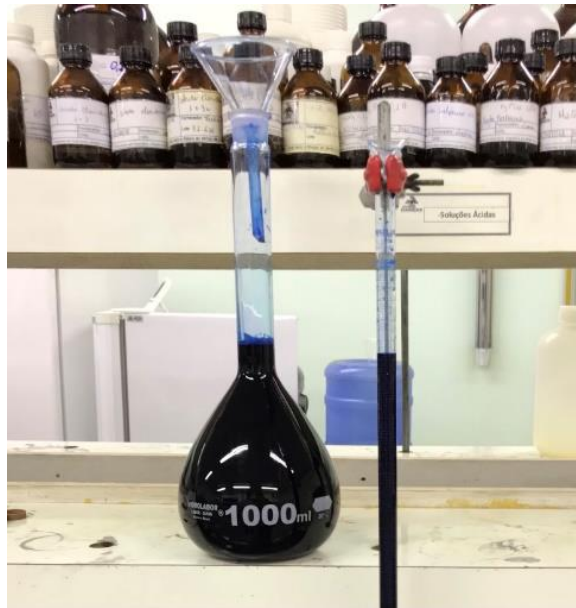
Fonte: FABRI, 1994.

A aparelhagem e materiais necessários para a realização do ensaio de absorção de Azul de Metileno pelo Método da Mancha são: peneira #200 (0,074 mm); balança de precisão de 0,01g; bureta de 25 ml com graduação de 0,1 ml; suporte metálico para bureta; soquete de plástico; bagueete cilíndrica de vidro; cronômetro com resolução de segundos; bastão de vidro; agitador magnético, para soluções aquosas; pipeta; béquer 250 ml; azul de metileno; papel filtro circular e água destilada.

Para a preparação da solução de azul de metileno utilizou-se a massa de 1,0 g de azul de metileno seco ao ar e dissolvido em 1000 ml de água destilada. Silva (2010) ressalta que a solução apresenta validade de 2 dias após o preparo (Figura 22).

No início da realização do ensaio determinou-se a umidade higroscópica de acordo com as preconizações da NBR 6457 (ABNT, 2016). Após a homogeneização, no agitador magnético, da mistura de 1 g de solo passante da peneira de malha de 0,074 mm (#200) mais 100 ml de água destilada, com auxílio de uma bureta graduada, acrescentou-se 1 ml da solução-padrão de azul de metileno e agitou-se por 60 segundos, para que houvesse a dispersão da solução água + corante + solo (Figura 23).

Figura 22 – Solução padrão de azul de metileno



Fonte: AUTOR, 2021.

Em seguida aspergiu-se uma gota da mistura sobre o papel filtro, utilizando o bastão de vidro, com o propósito de se verificar o surgimento da aura verde azulada em torno da borda que circula o núcleo, normalmente escuro, de solo, que indica o ponto de viragem, parâmetro utilizado para concluir o ensaio.

Figura 23 – Realização do ensaio azul de metileno



Fonte: AUTOR, 2021

Caso suspeita-se que ocorreu o ponto de viragem, deixa-se a solução em agitação por mais 3 minutos para a confirmação do resultado tomando-se uma gota da solução e verificando-se novamente a formação da aura. Caso contrário, repetir os procedimentos anteriormente citados acrescentando-se mais 1 ml da solução-padrão de azul de metileno até a constatação da formação da aura. Constatado o ponto de viragem, foi calculado o valor de azul (V_a) a partir do volume de azul de metileno consumido pela fração fina do solo durante o ensaio.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

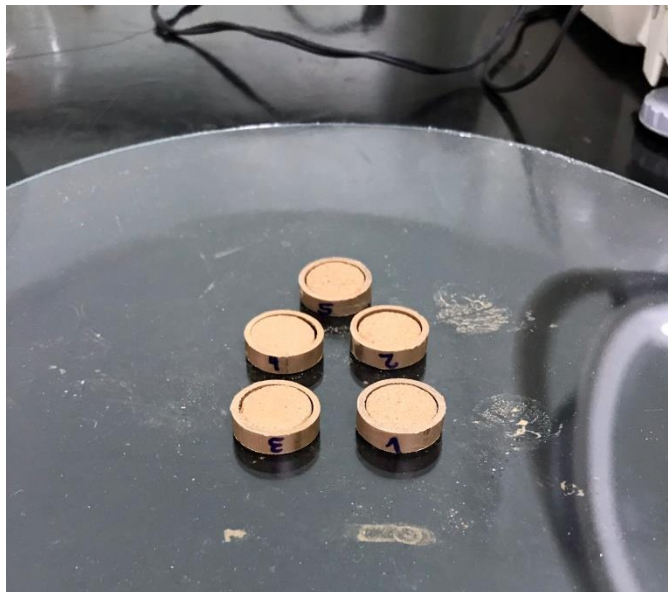
Neste capítulo são apresentados os resultados dos ensaios de laboratório realizados para a avaliação do tipo e comportamento das amostras de solo tropical laterítico (ITG-L) e saprolítico (GYN-S).

4.1 MÉTODO DAS PASTILHAS

Para a determinação dos resultados do ensaio do método expedito das pastilhas é necessário obter os valores de contração diametral e penetração das pastilhas de ambos os solos, laterítico e saprolítico. Portanto, inicialmente, as amostras foram submetidas a um processo de secagem ao ar durante um período de 12 horas. No decorrer desse processo as amostras sofreram contração conforme mostra a Figura 24.

Após a secagem, foram realizadas três medições de contração diametral, distanciados em cerca de 120°, a fim de obter a média de contração de cada amostra, bem como mediu-se os diâmetros internos dos respectivos moldes dos corpos de prova. Os dados obtidos dessas medições se encontram nas Tabelas 5 e 6.

Figura 24 – Amostras após o período de secagem



Fonte: AUTOR, 2021.

Tabela 5 – Contração diametral das amostras GYN-S

Molde	Média	Corpo de Prova	Média	Contração	Média Contração
1	16,74	1	16,03	16,03	0,66
	16,63		15,97		
	16,71		16,09		
2	16,6	2	15,93	15,90	0,68
	16,55		15,87		
	16,57		15,89		
3	16,53	3	16,01	15,99	0,56
	16,57		15,96		
	16,54		15,99		
4	16,46	4	16,03	16,04	0,47
	16,56		16,09		
	16,50		15,99		
5	16,56	5	16,01	15,92	0,64
	16,55		16,00		
	16,57		15,76		
					0,60

Obs.: Valores em milímetros.

Fonte: AUTOR, 2021.

Tabela 6 – Contração diametral das amostras ITG-L

Molde	Média	Corpo de Prova	Média	Contração	Média Contração
1	16,38	1	16,03	16,01	0,46
	16,55		15,93		
	16,47		16,07		
2	16,56	2	16,05	16,04	0,52
	16,56		16,02		
	16,55		16,05		
3	16,54	3	16,01	16,03	0,45
	16,41		16,01		
	16,48		16,06		
4	16,51	4	15,84	15,89	0,64
	16,55		15,96		
	16,52		15,87		
5	16,42	5	16,25	16,17	0,34
	16,59		16,14		
	16,52		16,12		
					0,48

Obs.: Valores em milímetros.

Fonte: AUTOR, 2021.

Na primeira coluna das Tabelas 5 e 6 têm-se os diâmetros internos dos anéis de PVC, nomeado como Molde. Na coluna Corpo de Prova tem-se os diâmetros internos dos corpos de prova. Ao lado das colunas Molde e Corpo de Prova tem-se os valores obtidos a partir da média aritmética de três medições diametrais. Na coluna Contração é calculado a contração diametral da pastilha de solo, por meio da diferença entre o diâmetro interno médio do molde de PVC e o valor médio do diâmetro do corpo de prova do solo. Na última coluna é apresentado a média aritmética da contração diametral dos cinco corpos de prova obtendo-se então a contração diametral das amostras de solo GYN-S e ITG-L.

Posteriormente, as amostras foram submetidas ao processo de reabsorção de água por um período de 2 horas. Durante o desmolde e medição da contração diametral, uma das pastilhas de solo laterítico se rompeu, o que reduziu o número de amostras de solo laterítico para quatro nessa etapa do ensaio (Figura 25).

Figura 25 – Pastilha rompida no processo de medição da contração diametral



Fonte: AUTOR, 2021.

Após a reabsorção foram observados que nas amostras de solo laterítico (ITG-L) (Figura 26b) não houve trinca e nem tampouco expansão. Enquanto as amostras de solo saprolítico (GYN-S) sofreram expansão de volume e desintegração conforme mostra Figura 26a.

Em seguida foram executadas as medidas de penetração, pelo minipenetrômetro, as amostras de solo laterítico não apresentaram penetração, em contrapartida as amostras de solo saprolítico apresentaram penetração máxima de 5,0 mm.

Figura 26 – Amostras após o período de reabsorção: (a) GYN-S e (b) ITG-L



(a)

(b)

Fonte: AUTOR, 2021.

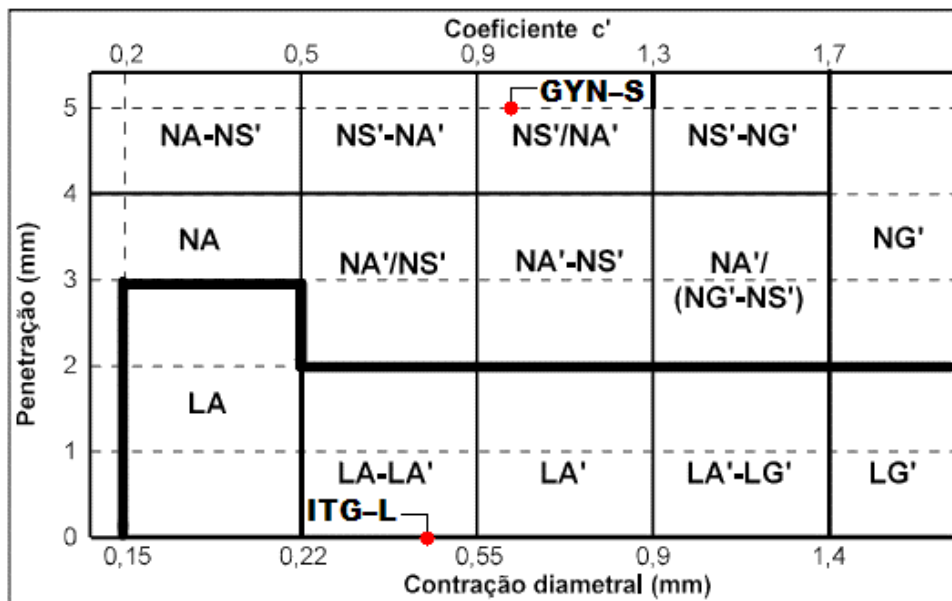
A partir dos dados obtidos e resumidos na Tabela 7 é possível classificar o solo através do ábaco do método das pastilhas apresentado na Figura 27.

Tabela 7 – Contração e penetração das amostras

Amostra	Contração	Penetração
ITG-L	0,48 mm	0,0 mm
GYN-S	0,60 mm	5,0 mm

Fonte: AUTOR, 2021.

Figura 27 – Resultado do ensaio de classificação do método expedito das Pastilhas



Fonte: FORTES *et al.*, 2002 (adaptado).

Assim, como mostram os pontos em vermelho destacados na Figura 27, a amostra de solo laterítico (ITG-L) é classificada como um solo LA-LA' (Areias lateríticas quartzosa – Solos arenosos lateríticos) e a amostra de solo saprolítico (GYN-S) classificada como um solo NS'/NA' (Areia saprolítica composta de grão de quartzo e/ou mica – Solo arenoso saprolítico).

Logo, nota-se que houve concordância com os resultados do ensaio de granulometria (Figura 15 e Tabela 3) realizado por Gomes, Ramos e Domingos (2019). Onde a amostra ITG-L foi classificada sem e com o uso de defloculante, respectivamente, como uma areia siltosa e uma areia argilosa. Já a amostra GYN-S foi nomeada sem e com o uso de defloculante, respectivamente, como: areia siltosa e areia siltosa com pouca argila.

Tratando-se da empregabilidade dos solos tropicais na estrutura de pavimentos, os solos são arranjados entre o 1º e 7º lugar no quesito prioridade de aplicação, podendo ser considerado, até mesmo, não recomendável para determinada camada do pavimento (Quadro 5). Embora seja necessário a realização de outros ensaios para obtenção dos demais parâmetros, o grupo MCT o qual o solo pertence fornece uma boa indicação geral da aplicabilidade do solo tropical nas camadas de pavimentos.

A amostra ITG-L classificada como LA-LA', se encontra entre o 1º e 2º lugar para as camadas: base, reforço do subleito e subleito compactado, além de ocupar o pódio nas demais camadas. A aplicação da amostra GYN-S, classificada como NS'/NA', é considerada não recomendável para: base, reforço do subleito, proteção a erosão e revestimento primário. Podendo ser aplicada no subleito e aterro quando compactados, ocupando entre a 5ª e 7ª posição de prioridade.

Portanto, visto que o método das pastilhas pode ser executado em menor tempo, requer consideravelmente menor complexibilidade e quantidade de solo em sua execução; baseia-se na identificação expedita do grupo MCT e, por fim, obtém-se resultados satisfatórios em relação ao caráter laterítico do solo amostrado e sua aplicabilidade na pavimentação, revela portanto, seu potencial uso, tanto na etapa de análise e escolha de jazidas de empréstimo quanto na execução das obras de construção rodoviária.

4.2 MÉTODO DA MANCHA DE AZUL DE METILENO

Para a obtenção dos resultados do ensaio de absorção de azul de metileno pelo método da mancha é necessário conhecer a umidade higroscópica do solo, ponto de viragem e a porcentagem da fração de argila presente na amostra, a fim de calcular o volume de azul (Va). O método também permite a determinação da superfície específica (SE) do material analisado.

Portanto, inicialmente, após a secagem ao ar dos solos, determinou-se o teor de umidade (Figura 28), o qual resultou em 0,95% para a amostra de solo do tipo laterítico (ITG-L) e 4,07% para a amostra de solo do tipo saprolítico (GYN-S), conforme mostrado na Tabela 8.

Figura 28 – Cápsulas utilizadas na determinação da umidade higroscópica do solo



Fonte: AUTOR, 2021

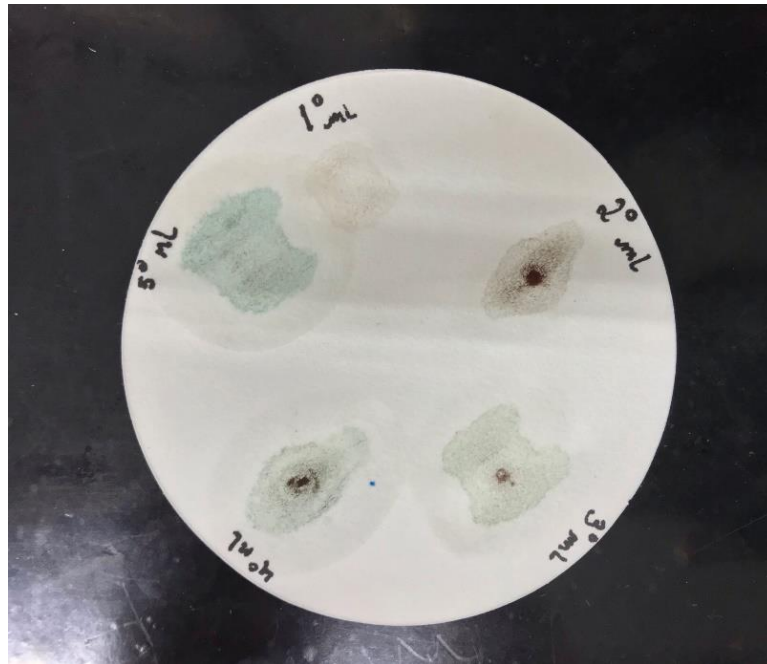
Tabela 8 – Determinação do teor de umidade das amostras

Amostra	Unidade	ITG-L		GYN-S	
		1	2	1	2
Cápsula	n°				
M_1 (Solo + Tara)	g	82,64	82,56	73,98	73,34
M_2 (Solo seco + Tara)	g	82,06	81,99	71,70	71,52
M_3 (Tara)	g	21,01	21,47	20,65	22,04
M_4 (Água)	g	0,58	0,57	2,28	1,82
M_5 (Solo seco)	g	61,05	60,52	51,05	49,48
W	%	0,95	0,94	4,46	3,68
$W_{médio}$	%	0,95		4,07	

Fonte: AUTOR, 2021

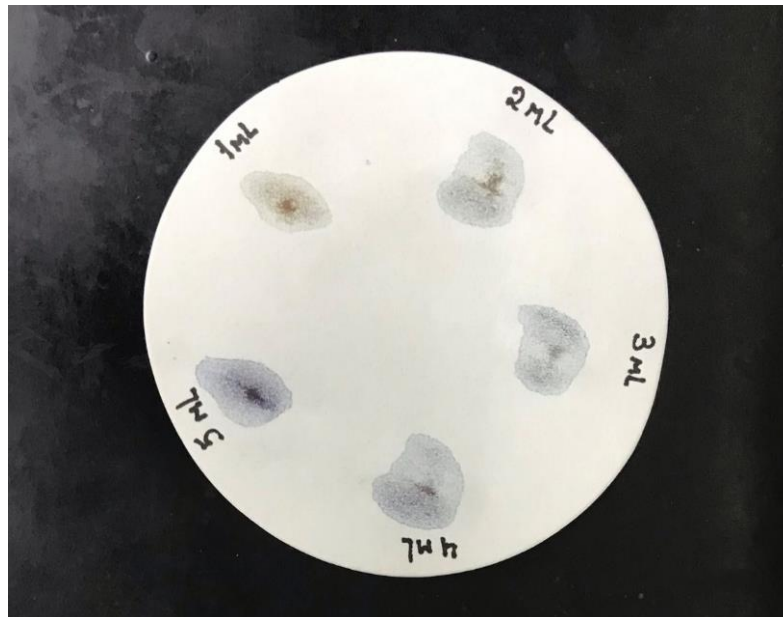
O ponto de viragem foi constatado quando houve o acréscimo de 4 ml de solução padrão de azul de metileno para a amostra de solo do tipo laterítico (ITG-L) e 3 ml de solução padrão de azul de metileno para a amostra de solo do tipo saprolítico (GYN-S). As Figuras 29 e 30 mostram o papel filtro em que foram aspergidas as gotas da mistura solo-solução, onde pôde-se verificar a formação da aura.

Figura 29 – Ponto de viragem da amostra de solo laterítica (ITG-L)



Fonte: AUTOR, 2021

Figura 30 – Ponto de viragem da amostra de solo saprolítica (GYN-S)



Fonte: AUTOR, 2021

Para o cálculo do Valor de Azul (Va) foi utilizada a Equação 8. O cálculo foi efetuado adotando-se uma porcentagem passante, na peneira de abertura 0,075 mm (P_{200}); de 50,38% para a amostra ITG-L e 53,96% para a amostra GYN-S, valores retirados da curva granulométrica com defloculante, apresentada na Figura 15. Utilizando os valores de umidade (w) e ponto de viragem (V), apresentados anteriormente neste capítulo; o Valor de Azul (Va)

resulta em $2,03 \cdot 10^{-3} \text{g/g}$ para a amostra de solo do tipo laterítico (ITG-L) e $1,68 \cdot 10^{-3} \text{g/g}$ para a amostra de solo do tipo saprolítico (GYN-S).

Cálculo do Valor de Azul (V_a) da amostra de solo do tipo laterítico (ITG-L):

$$V_a = 4 \times \left(1 + \frac{0,95}{100}\right) \times \frac{50,38}{100}$$

$$V_a = 2,03 \cdot 10^{-3} \text{g/g}$$

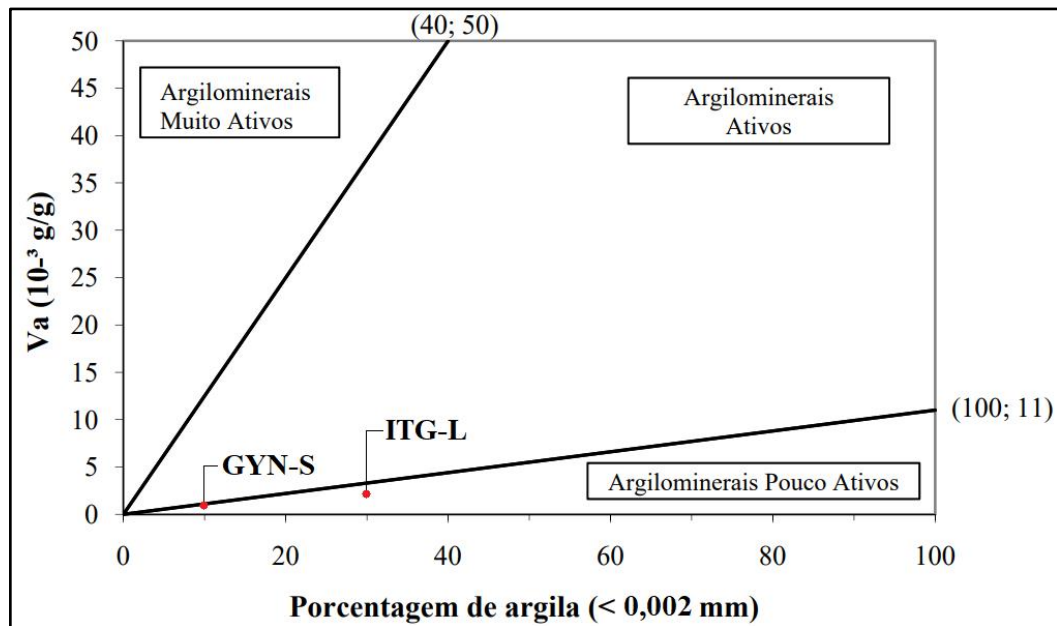
Cálculo do Valor de Azul (V_a) da amostra de solo do tipo saprolítico (GYN-S):

$$V_a = 3 \times \left(1 + \frac{4,07}{100}\right) \times \frac{53,96}{100}$$

$$V_a = 1,68 \cdot 10^{-3} \text{g/g}$$

Obtido o Valor de Azul (V_a) das amostras e dado a porcentagem de argila do solo (Tabela 3), alimentou-se o ábaco apresentado na Figura 31 para identificação do grau de atividade dos argilominerais da fração de argila dos solos.

Figura 31 – Resultado do ensaio Azul de Metileno pelo método da mancha



Fonte: FABBRI, 1994 (adaptado).

O coeficiente de atividade da fração argilosa (CA) foi calculado pela Equação 9. Para a porcentagem, do peso da fração, menor do que 0,002 mm presente na amostra de solo (P_F), foi adotado o valor de 29,76% para a amostra ITG-L e 10,11% para a amostra GYN-S, valores retirados do ensaio de sedimentação com defloculante, apresentados na Figura 15. Além do mais, foi utilizado os valores de Va calculados anteriormente. Deste modo obtém-se CA igual a 6,84 para a amostra de solo do tipo laterítico (ITG-L) e CA equivalente a 16,66 para a amostra de solo do tipo saprolítico (GYN-S).

Cálculo do coeficiente de atividade (CA) da amostra de solo laterítico (ITG-L):

$$CA = \frac{2,03}{29,76} \times 100$$

$$CA = 6,84$$

Cálculo do coeficiente de atividade (CA) da amostra de solo saprolítico (GYN-S):

$$CA = \frac{1,68}{10,11} \times 100$$

$$CA = 16,66$$

Portanto o grau de atividade dos argilominerais da amostra de solo laterítico (ITG-L) é classificado como pouco ativo, já da amostra de solo saprolítico (GYN-S) o grau de atividade dos argilominerais pode ser considerado ativo, embora no ábaco (Figura 31) a amostra laterítica se encontra em zona de transição, a classificação ativa dos argilominerais se prova mais verossímil. A Tabela 9 apresenta um resumo dos resultados obtidos do ensaio azul de metileno.

Tabela 9 – Resultados do ensaio azul de metileno

Amostra	Va (10^{-3} g/g)	CA	Argilomineral	Grau de Atividade
ITG-L	2,03	6,84	Laterizados	Pouco Ativo
GYN-S	1,68	16,66	Caulinita	Ativo

Fonte: AUTOR, 2021.

Segundo Villibor *et al.* (2009), solos tropicais do tipo saprolítico com baixos valores de IP e baixo LL, apresentam alta expansibilidade quando compactados nas condições exigidas

pelas normas rodoviárias e imersos em água. Isto acontece, sobretudo nos solos saprolíticos ricos em siltes caoliníticos e/ou micáceos.

O ensaio azul de metileno se mostrou eficiente ao ser capaz de identificar o tipo e o grau de atividade do argilomineral presente na amostra GYN-S que se mostrou condizente ao comportamento do solo na presença de água, conforme citado anteriormente por Villibor *et al.* (2009). A presença de caulinita somado ao fato da amostra de solo apresentar fração silte maior que a fração argila (Tabela 3), além de baixos índices IP e LL (Tabela 4), pode explicar a elevada expansibilidade da amostra na etapa de reabsorção de água do ensaio das pastilhas (Figura 26a).

Além do mais, os argilominerais encontrados na amostra ITG-L, são considerados típicos dos solos retirados do horizonte laterítico. A mineralogia da fração argila dos solos lateríticos é composta de óxidos e hidróxidos de alumínio e ferro, argilominerais considerados laterizados, conforme constatado pelo ensaio, devido ao solo ter sofrido intensos processos de intemperização e lixiviação.

5 CONCLUSÃO

Sabe-se que os solos tropicais de comportamento laterítico, quando devidamente compactados, apresentam elevada capacidade de suporte, pequena perda desta capacidade por imersão em água e baixa expansão volumétrica, o que desperta grande interesse na sua utilização na pavimentação.

Os ensaios expeditos, das pastilhas e azul de metileno, se mostraram eficazes na identificação do caráter laterítico dos solos. Sendo indicados para a fase de estudo de viabilidade e de projeto executivo, como uma maneira de reduzir o custo do estudo de opções, quer de jazidas, quer de alternativas para a pavimentação econômica.

O método expedito das pastilhas foi assertivo, ao passo que a amostra de solo GYN-S, retirada do horizonte saprolítico, foi classificada como NS'/NA': Areia saprolítica composta de grão de quartzo e/ou mica e, a amostra ITG-L retirada do horizonte laterítico como um solo que de fato apresenta comportamento laterítico, LA-LA': Areias lateríticas quartzosa. Se tratando da classificação das amostras, houve concordância com os resultados obtidos pelo o ensaio de granulometria, onde ITG-L foi nomeada como areia argilosa e a amostra GYN-S areia siltosa com pouca argila. Tendo em vista a rapidez, complexibilidade de execução e custo, o método das pastilhas se mostrou mais vantajoso para classificar as amostras.

A identificação dos grupos MCT, através do método expedito das pastilhas, obtém resultados mais coerentes em relação ao tipo de solo amostrado que as de solo de clima frio e temperado. Pelo SUCS ambos os solos foram designados como siltes de baixa compressibilidade (ML), mesmo o solo laterítico apresentado uma fração que passa na peneira de 0,075 mm predominante de argila. Além de que, pela caracterização do SUCS não se é possível distinguir o solo laterítico do não laterítico, podendo os dois serem classificados em um mesmo grupo.

Além do mais, a identificação expedita dos grupos MCT pelo método das pastilhas, pode ser utilizado para indicar, do 1º ao 7º lugar no quesito prioridade de aplicação, em qual camada da estrutura do pavimento é mais recomendada a aplicação do solo tropical. A amostra ITG-L, classificada como LA-LA', se encontra entre o 1º e 2º lugar de indicação para as camadas: base, reforço do subleito e subleito compactado, além de ocupar o pódio nas demais camadas. A aplicação da amostra GYN-S, classificada como NS'/NA', é considerada não recomendável para: base, reforço do subleito, proteção a erosão e revestimento primário. Podendo ser aplicada no subleito e aterro quando compactados, ocupando entre a 5ª e 7ª posição de prioridade. Contudo, ressalta-se que para a confirmação dessas indicações que o grupo MCT

forneceu, se faz necessário uma análise mais profunda das propriedades do solo através dos ensaios CBR, expansão e contração além dos valores dos coeficientes de permeabilidade e de sorção.

De acordo com o ensaio de absorção de azul de metileno pelo método da mancha, verificou-se que a partir do grau de atividade e tipo dos argilominerais presentes na fração de argila do solo pôde-se obter boa previsão do comportamento do solo quando submetido a compactação e presença de água, condições solicitadas na pavimentação. A presença de caulinita na amostra GYN-S somado ao fato de o solo apresentar significativa fração silte pode explicar a elevada expansibilidade da amostra na etapa de reabsorção de água do ensaio das pastilhas. A constatação dos argilominerais laterizados presentes na amostra ITG-L, típicos de solos retirados do horizonte laterítico, corrobora para a identificação expedita de solos do tipo laterítico.

A pavimentação decorre da seleção e extração de materiais apropriados, cuja disponibilidade de recursos é limitada e requer altos investimentos; logo torna-se indispensável a redução de custos na construção e manutenção das obras rodoviárias. Portanto, a identificação e aplicação dos solos de comportamento laterítico na estrutura de pavimentos deve ser incentivado visto que os materiais granulares, convencionalmente utilizados na estrutura de pavimentos, estão se tornando escassos e onerosos.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457**: Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. 2 ed. Rio de Janeiro, 2016. 8 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7207**: Terminologia e classificação de pavimentação. Rio de Janeiro, 1982. 3 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9895**: Solo - Índice de suporte Califórnia (ISC): Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2017.
- BALDO, J. T. **Pavimentação asfáltica: materiais, projeto e restauração**. Oficina de Textos, São Paulo, 2007.
- BARROSO, S. H. A. **Estudo dos solos da região metropolitana de Fortaleza para aplicação na engenharia rodoviária**. 2002. 253 p. Tese (Doutorado em Engenharia) – Departamento de Transportes, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.
- BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L. M.; CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. B. **Pavimentação Asfáltica: Formação Básica para Engenheiros**. 1ª ed. Rio de Janeiro, 2008.
- CABRAL, F. M. **Estabilização de solos com adição de cal e cimento para fins de pavimentação na cidade de Uberlândia**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil), Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, 2018.
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. **Transporte rodoviário: impactos da qualidade do asfalto sobre o transporte rodoviário**. Pesquisa CNT de Rodovias 2019. Brasília: CNT, 2019. Disponível em: [http:// pesquisarodovias.cnt.org.br/](http://pesquisarodovias.cnt.org.br/).
- CORREA, B. M.; CUREAU, D.; DORNELLES, L. E.; PINHEIRO, R. J.B. Utilização da metodologia MCT e do método das pastilhas para classificação de solos em Ijuí/RS. In: Congresso Regional De Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia, 28, 2017, Ijuí – RS. **Congresso**. Ijuí: CRICTE, 2017. p. 2-4.
- COZZOLINO, V.M.N.; NOGAMI, J.S. **Classificação geotécnica MCT para solos tropicais. Solos e Rochas**, v.16, n.2, p.77-91, 1993.
- Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. **Manual de Pavimentação**. 3. ed. Rio de Janeiro: DNIT/IPR, 2006. 274 p.
- DIAS, Idalíria de Moraes. **Estudo de solos tropicais para uso em pavimentação a partir de ensaios triaxiais estáticos**. 2007. 137 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade de São Carlos, São Carlos, 2007.
- FABBRI, G. T. P. **Caracterização da fração fina de solos tropicais através da absorção de azul de metileno**. 1994. 101 p. Tese (Doutorado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1994.

FORTES, R. M. **Métodos das pastilhas para identificação expedita do grupo MCT – Miniatura, Compactada, Tropical**. 1ª Câmara Permanente de Desenvolvimento Tecnológico. Universidade Mackenzie. São Paulo, 1997.

FORTES, R. M.; MERIGHI, J. V.; ZUPPOLINI NETO, A. **Método das pastilhas para identificação expedita de solos tropicais**. In: Congresso Rodoviário Português, 2002, Lisboa. Anais, 2002.

GOMES, Gabriela de Oliveira; RAMOS, Jéssica Martins; DOMINGOS, Vanessa Honorato. **Caracterização de solos lateríticos e saprolíticos para pavimentação de baixo custo**. Periódico: Journal Of Engineering: Technology, Innovation And Sustainability, Anápolis, v. 1, n. 1, p. 1-14, 26 fev. 2019. Anual.

GUERRA, M. V. P, GUIMARÃES, R. O, SANTOS, T. L, DOMINGOS, V. H. **Solos tropicais: Ensaio do método das pastilhas e azul de metileno**. 2014 22p. Relatório de aula prática (Geotecnia) –Programa de pós graduação em Geotecnia, Mecânica das estruturas e Construção civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010.

MARQUES, G.L.O. **Notas de Aula da Disciplina Pavimentação**. 2010. Versão: 06.2, 210 p. Juiz de Fora-MG.

MEDINA, J., 1997, **Mecânica dos Pavimentos**. 1ª edição, 380 p. Rio de Janeiro-RJ, Editora UFRJ.

MORAES, L. A. B.; BARRETO JÚNIOR, L. Q.; SANTOS, L. P. D.; ALVES, G. C. **Avaliação do Emprego de Misturas Asfálticas a Frio em Serviços de Manutenção de Pavimentos**. UNIFACS, Salvador, v. 10, n. 1, p. 4-6, 2006. Disponível em: <https://revistas.unifacs.br/index.php/sepa/article/view/37/31>. Acesso em: 04 out. 2020.

NOGAMI, J. S.; VILLIBOR, D. F. **Pavimentação de baixo custo com solos lateríticos**. 1. ed. São Paulo: Villibor, 1995.213 p.

NOGAMI, J.S.;VILLIBOR, D.F. **Pavimentos econômicos: tecnologia do uso dos solos finos lateríticos**. São Paulo: Arte & Ciência, 2009. 291 p.

PADULA, R. **Infra-Estrutura I: transportes – fundamentos e propostas para o Brasil**. 1.ed. (Pensar o Brasil – Construir o futuro da nação). Brasília: Confea, 2008. 215 p.

PINTO, C. S. **Curso Básico de Mecânica dos Solos em 16 Aulas**. Oficina de Textos. 2006.

SANTANA, H. **Manual de pré-misturados a frio**. 1. ed. Rio de Janeiro: IBP, 1993. São Paulo, 247 p.

SENÇO, Wlastermiler de. **Manual de técnicas de pavimentação: volume 1**. 2. ed. São Paulo: Pini, 2007.

SILVA, R. C. **Investigação de jazidas de solos tropicais para uso em pavimentação na região metropolitana de Goiânia - GO**. 2010. 177 p. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Programa de pós graduação em Geotecnia, Mecânica das estruturas e Construção civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010.

VENTURINI, Jéssica Anversa. **Aplicação da metodologia MCT para classificação de alguns solos e rochas da região de Santa Maria**. 2015. 63 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.

VILLIBOR, D. F.; NOGAMI, S. J.; BELIGNI, M.; CINCERRE, J. R. **Pavimentos com solos lateríticos e gestão de manutenção de vias urbanas**. São Paulo: Associação Brasileira de Pavimentação (ABPv) e Universidade Federal de Uberlândia, 2000. 138 p.

VILLIBOR, D. F.; NOGAMI, S. J.; CINCERRE, J. R.; SERRA, P. R. M., ZUPPOLINI NETO A. **Pavimentos de baixo custo para vias urbanas: Bases alternativas com solos lateríticos e gestão de manutenção de vias urbanas**. 2ª ed. São Paulo: Arte & Ciência, 2009. 196p.