



Caracterização de um Solo Arenoso Fino Laterítico para Base de Pavimentos

M. Clara Paiva¹, Aline P. da Silva¹, Vinícius de O. Kuhn¹, Oisy H. Menéndez¹

¹Centro das Ciências Exatas e das Tecnologias – Universidade Federal do Oeste da Bahia (UFOB) – Barreiras, BA - Brasil

mclay_re@hotmail.com, aline.aps.ec@gmail.com,
vinicius.kuhn@ufob.edu.br, oisy.menendez@ufob.edu.br

Abstract. *Research on alternative materials such as lateritic soils for use in the base layers or underlayment of pavements has been gaining ground, and in the west of Bahia this type of soil is very common. This study performs the physical and mechanical characterization using the classification systems: SUCS, TRB and the MCT methodology. Geotechnical characterization, compaction and CBR tests were carried out in addition to some of the MCT tests such as: mini-Proctor, mini-MCV, immersion mass loss and contraction. It is concluded that the most efficient method to characterize the lateritic soil is the MCT Methodology, which allows to classify the soil as satisfactory for the base of pavements.*

Resumo. *Pesquisas de materiais alternativos como os solos lateríticos para a utilização nas camadas de base ou sub-base de pavimentos vem ganhando espaço, e no oeste da Bahia este tipo de solo é muito comum. Este estudo realiza a caracterização física e mecânica, utilizando os sistemas de classificação: SUCS, TRB e a metodologia MCT. Foram realizados ensaios de caracterização geotécnica, compactação e CBR além de alguns dos ensaios da metodologia MCT como: mini-Proctor, mini-MCV, perda de massa por imersão e contração. Conclui-se que o método mais eficiente para caracterizar o solo laterítico é a Metodologia MCT, que permite classificar o solo como satisfatório para base de pavimentos.*

1. Introdução

O Oeste da Bahia possui uma extensa malha rodoviária que é de grande importância econômica para o Estado e que atende o tráfego local e regional, no entanto, tem-se observado uma gama de patologias que afetam a qualidade e segurança dessas estradas. Vários fatores podem ser destacados como motivadores dessa deficiência, entre os que podem ser mencionados: pouca manutenção e o excesso de carga transportada por caminhões, sendo este último um fator que vem agravando de maneira significativa as camadas de revestimento e base dos pavimentos.

Os materiais utilizados para a execução de pavimentos, que atendem as especificações tradicionais, muitas vezes não são encontrados facilmente, principalmente próximos aos grandes centros urbanos. Com o uso frequente, eles se



tornam escassos e, além do mais os órgãos ambientais estão mais rigorosos quanto à exploração desses materiais. Sendo assim, as pesquisas de materiais como os solos lateríticos vêm ganhando espaço, verificando sua possível utilização como material de base ou sub-base em vias de tráfego muito leve a médio.

As pesquisas (Costa, 1988; Nogami e Villibor, 1995; Maragon, 2004; Marson, 2004; Villibor e Nogami, 2009; Araújo e Dantas, 2014) sobre solo arenoso fino laterítico (SAFL), mostram que quando compactados corretamente apresentam excelentes propriedades para serem utilizados como base, permitindo assim maior vida útil para os pavimentos. Os autores destacam também que o desenvolvimento de tecnologias que ampliem o conhecimento sobre a Metodologia MCT (Miniatura – Compactado – Tropical), possibilitam um conhecimento tecnológico do SAFL para a pavimentação.

Outro ponto relevante é o pouco emprego de técnicas e metodologias adequadas para o uso do solo arenoso fino laterítico (SAFL), nas camadas de base e sub-base de pavimentos. Com isso, o estudo dos solos lateríticos, tendo como referência a utilização da metodologia MCT, resulta em um pavimento mais adequado ao tipo de solo apresentado, tornando-se uma alternativa economicamente viável ao utilizar o material abundante e muitas vezes descartado por falta de conhecimento das suas propriedades. De acordo com Villibor e Nogami (2009), poderão ser desenvolvidos critérios para o SAFL e procedimentos construtivos para a sua utilização na execução de bases, que sejam adaptadas às condições locais.

Procurando utilizar os solos lateríticos predominantes na região do oeste da Bahia em camadas de base ou sub-base de pavimentos é que se realiza esta investigação. Serão moldados corpos de prova utilizando técnicas tradicionais e a metodologia MCT com o intuito de comparar os resultados e verificar se a mudança do Sistema de classificação do solo proporciona outros critérios que permitam utilizar um solo laterítico como camada de pavimento com tráfego médio ou leve.

2. Materiais e métodos

2.1. Identificação do local e coleta das amostras

Segundo a Embrapa (2011) os solos da região Oeste da Bahia, apresentam-se como intemperizados, profundos e bem drenados, classificados como Latossolos, Concrecionários, Podzólicos, Terras Roxas, Areias Quartzosas, Lateritas Hidromórficas entre outros.

O material estudado está localizado dentro do Município de Barreiras, na Fazenda Aracy Porto, no bairro Buritis. Este local foi escolhido como provável jazida de SAFL, tendo em vista que foi realizada uma análise pedológica prévia, homogeneidade da cor e textura que mostraram aspectos semelhantes ao do solo laterítico.

A área de amostragem encontra-se na bacia hidrográfica do rio Grande, com uma extensão de 8.272 Km².

Para a coleta do solo foram extraídos manualmente aproximadamente 80 kg de material solto, a uma profundidade de aproximadamente 1,5 m, pertencentes ao

horizonte B (Figura 1). O solo coletado em julho, fora do período chuvoso, tendo o cuidado com a separação da matéria orgânica.



Figura 1. Perfil de extração da amostra

A amostra coletada é vermelha, que conforme o mapa pedológico se classifica o solo como Latossolo vermelho-amarelo distrófico (LVAd).

2.2. Programa experimental

O trabalho experimental foi dividido em duas etapas, primeiramente foram realizados ensaios de caracterização geotécnica convencional (Tabela 1) de amostras deformadas seguindo as especificações descritas nas normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT):

Tabela 1. Ensaios de caracterização geotécnica convencional

Ensaio	Normas
Umidade Higroscópica (w_0)	NBR 6457/2016
Densidade Real dos Grãos (G_s)	NBR 6458/2016
Granulometria (com e sem o uso do defloculante)	NBR 7181/2016
Limite de Liquidez (w_L)	NBR 6459/2016
Limite de Plasticidade (w_P)	NBR 7180/2016
Compactação Proctor Normal	NBR 7182/2016
Índice Suporte Califórnia- CBR	NBR 9895/2016

Para os ensaios de compactação, foram preparados cinco corpos de prova e compactados com energia correspondente ao Proctor Normal, que posteriormente foram imersos e realizado o rompimento para determinação do CBR.

Na segunda etapa, realizaram-se ensaios da metodologia MCT, visando atender as exigências da proposta prescrita por Villibor e Nogami (2009) (Tabela 2).

**Tabela 2. Ensaio de caracterização utilizando a metodologia MCT**

Característica	Valor
Ensaio de Compactação Mini-Proctor	DNER-ME 254/94
Ensaio de Compactação Mini-MCV	DNER-CLA 259/96 e DNER-ME-258/94
Ensaio de Perda de Massa por Imersão	DNER-ME-256/94

O ensaio de compactação Mini-Proctor foi realizado com energia correspondente ao proctor normal para cinco corpos de prova com umidades semelhantes às utilizadas na compactação normal da metodologia tradicional, de modo a comparar os resultados obtidos.

O Mini-MCV foi realizado para cinco corpos de prova. Este ensaio aplica um número crescente de golpes nos corpos de prova até não houver acréscimo sensível em sua densidade. Os resultados possibilitam a plotagem de família de curvas de compactação e curvas de deformabilidade Mini-MCV de um mesmo solo.

A partir das curvas de compactação MCV é possível determinar os coeficientes d' e c' . O coeficiente d' é a inclinação do ramo seco correspondente a 10 golpes e o coeficiente c' é a inclinação da parte mais inclinada e retilínea da curva Mini-MCV correspondente à condição Mini-MCV igual 10.

Os corpos de prova obtidos no ensaio Mini-MCV foram extraídos parcialmente do molde até 10mm e posteriormente submerso em água horizontalmente para determinação da massa seca despreendida (perda de massa por imersão, ou coeficiente P_i). O coeficiente P_i pode ser obtido através da Equação 1.

$$P_i = \frac{M_d * \left[1 + \left(\frac{w}{100} \right) \right] * A}{Z * M_u} * 100 * F_c \quad (1)$$

Onde:

P_i - perda de massa por imersão (%);

M_d - Massa de solo seco da porção despreendida (g);

w - teor de umidade (%);

A - Altura final do corpo de prova (mm);

Z - Porção do corpo de prova extrudada do molde (mm);

M_u - Massa úmida do corpo de prova (g);

F_c - Fator de correção.

Com os coeficientes d' e P_i é possível determinar o coeficiente e' (Equação 2), que segundo o Villibor e Nogami (2009) representa o grau de laterização do solo.

$$e' = \sqrt[3]{\left(\frac{P_i}{100} + \frac{20}{d'} \right)} \quad (2)$$



3. Resultados

3.1. Caracterização geotécnica

O valor encontrado para teor de umidade higroscópica foi 1,6% e o teor de umidade em campo de 4,8%. A massa específica dos sólidos obtida mediante o método do picnômetro foi 2,51 g/cm³.

Os resultados dos limites de liquidez e plasticidade se apresentam na Tabela 3. Baseado no índice de plasticidade o solo pode ser considerado como ligeiramente plástico.

Tabela 3. Limites de Atterberg

Característica	Valor
Limite de liquidez (%)	17,41
Limite de plasticidade (%)	13,28
Índice de plasticidade	4,13

3.1.1. Análise granulométrica e classificação do solo

A Figura 2 apresenta as curvas granulométricas do solo com e sem o uso de defloculante (hexametáfosfato de sódio). Os resultados indicam que o solo tem um comportamento típico laterítico, onde as partículas de argila se organizam formando agregados de areia (referente à parte da curva que foi realizada com o ensaio de sedimentação). No entanto, com o uso do defloculante essa argila é desagregada, abrindo a faixa de materiais finos da curva granulométrica e o material apresenta-se argiloso. O que evidencia que o solo depende de outros fatores, além da granulometria para sua classificação.

Na Figura 2 se observa que, a curva granulométrica obtida se enquadra nas faixas granulométricas (linhas pretas) recomendadas por Villibor e Nogami (2009) para bases de pavimentos com SAFL.

Na Tabela 4 são apresentadas as frações constituintes do solo segundo a classificação descrita na NBR 6502/95. Com o defloculante o solo tem menor fração de areia fina que no ensaio sem defloculante. Observou-se que os ensaios apresentaram diferentes frações de argila e silte, sendo que no ensaio com defloculante o valor retido de silte foi 7,6% e sem defloculante apresentou 28,8%. Esta mesma diferença apresentou-se para a argila, para a qual ficou retido um percentual bem menor 0,5% do que no ensaio com defloculante, que foi 29,9%.

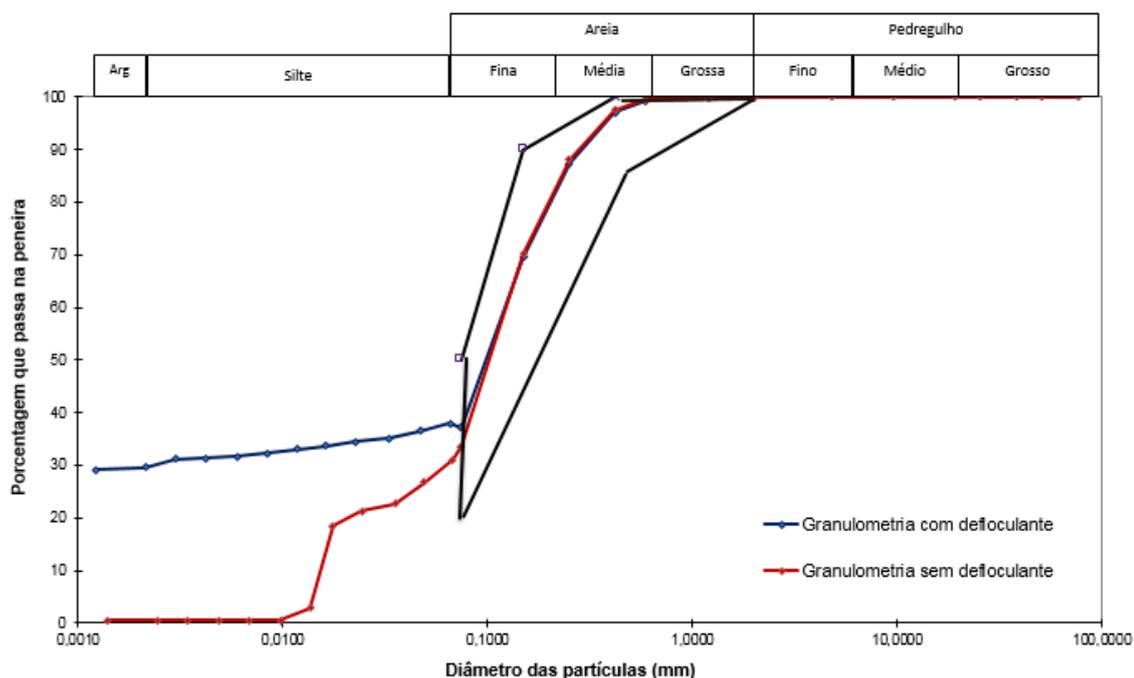


Figura 2. Curvas granulométricas do solo

Tabela 4. Frações granulométricas

Solo	Sem defloculante (%)	Com defloculante (%)
Pedregulho Fino	0,1	0,1
Areia grossa	0,4	0,7
Areia média	20,3	20,8
Areia fina	50,0	41,0
Silte	28,8	7,6
Argila	0,5	29,9

A Tabela 5 mostra a classificação do solo pelos sistemas SUCS e HRB conforme os resultados de limites de liquidez e plasticidade obtidos.

Tabela 5. Classificação do solo

Solo	Sem defloculante (%)	Com defloculante (%)
SUCS	SC-SM	SC-SM
HRB	A-4	A-2-4

Os resultados mostram que o solo estudado no seu estado natural é classificado pela metodologia tradicional como não adequado para uso em camadas de base de pavimentos.

A Figura 3 mostra a curva de compactação correspondente à energia de Proctor Normal. De acordo com a representação gráfica, a umidade ótima do solo foi 10,1% e a massa específica aparente seca máxima igual a 1,96 g/cm³.

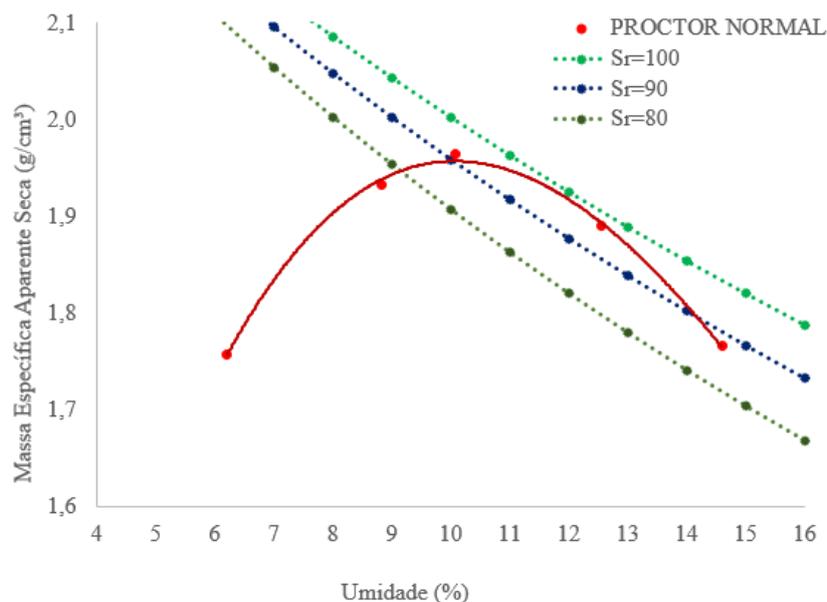


Figura 3. Curva de compactação Proctor Normal

A amostra apresenta valores baixos de expansão (inferiores a 0,5%), satisfazendo as condições do DNIT (2006), para solos na camada de base. O CBR encontrado foi 13,64 % não alcançando o CBR mínimo de 60 %, para camadas de pavimentos. Levando em consideração os métodos tradicionais, o solo não pode ser utilizado como camada de pavimentos.

3.2. Caracterização pela Metodologia MCT

3.2.1. Compactação Mini-Proctor

A Figura 4 mostra a Mini-Proctor do solo utilizando energia normal e a Figura 5 mostra os corpos de prova obtidos. A umidade ótima foi 9,6% e a densidade seca máxima 1,98 g/cm³.

O mini-CBR encontrado foi 46% que segundo os critérios de aceitação propostos por Villibor e Nogami (2009) este solo apresenta condições favoráveis para ser utilizado como base de pavimentos (mini-CBR \geq 40%).

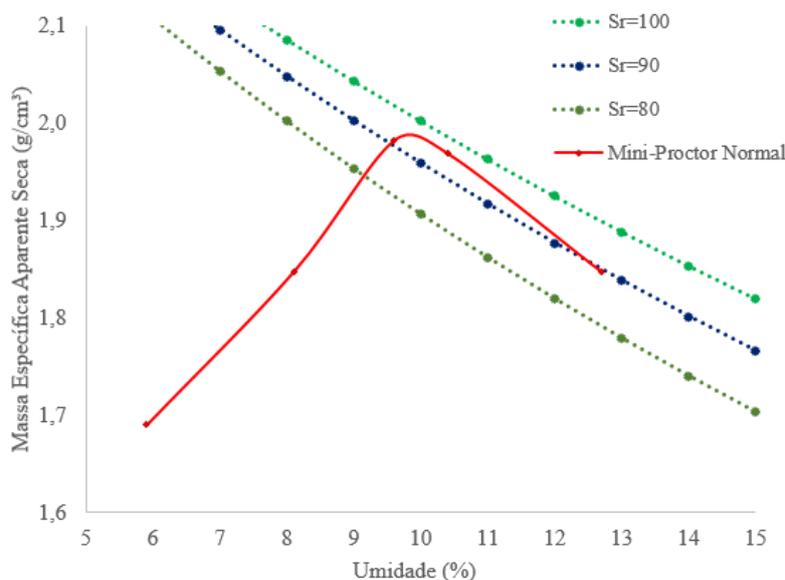


Figura 4. Curva de compactação Mini-Proctor Normal



Figura 5. Corpos de prova do ensaio de compactação Mini-Proctor Normal

Comparando as duas curvas de compactação obtidas pelos dois métodos citados anteriormente, verifica-se que, a densidade seca máxima e a umidade ótima do solo não diferem muito, para o caso da umidade, a variação do valor é de 0,5% e para a densidade seca máxima a diferença é 0,019 g/cm³, aspecto que permite concluir que para os solos lateríticos a compactação realizada pelos métodos tradicional e Mini-Proctor oferecem resultados similares, sendo este último método mais rápido e menos trabalhoso.

3.2.2. Compactação Mini-MCV

As curvas de compactação obtidas pelo ensaio Mini-MCV estão apresentadas na Figura 6, sendo o coeficiente d' de 65.

Foram traçadas curvas de deformabilidade de Mini-MCV, para determinar o coeficiente c' de 1,08 (interceptando a diferença nas alturas de 2mm com o número de golpes igual 10).

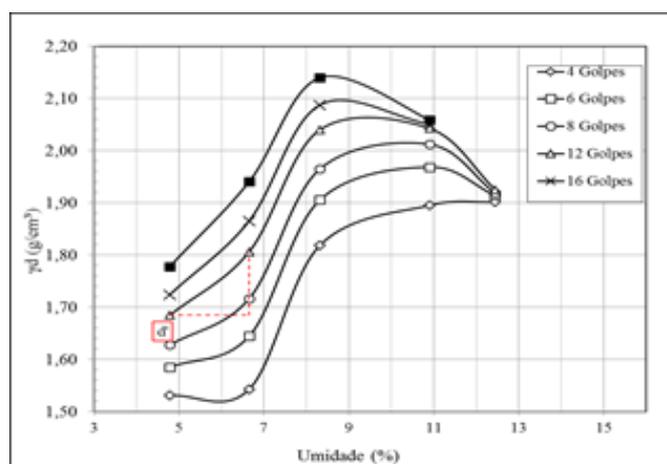


Figura 6. Família de Curvas de compactação obtida no ensaio Mini-MCV

3.2.3. Perda de massa por imersão

A Figura 7 mostra o gráfico de Mini-MCV x perda por imersão (P_i) e a Figura 8 mostra os corpos de prova. O valor de P_i obtido por interpolação gráfica foi de 84,1%.

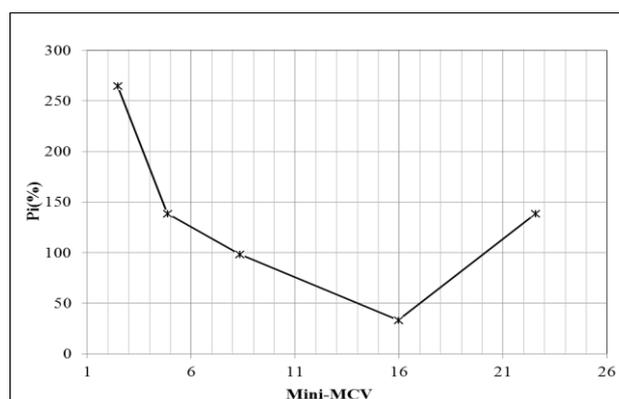


Figura 7. Gráfico Mini-MCV x Perda por imersão



Figura 8. Ensaio de Perda por imersão

3.2.4. Classificação do solo pela metodologia MCT

A Figura 9 apresenta a classificação do solo estudado, onde este se encaixa na área II

(valores de c' igual a 1,08 e e' igual a 1,05), que segundo a Metodologia MCT, são considerados os melhores solos para bases de pavimentos, sem problemas construtivos.

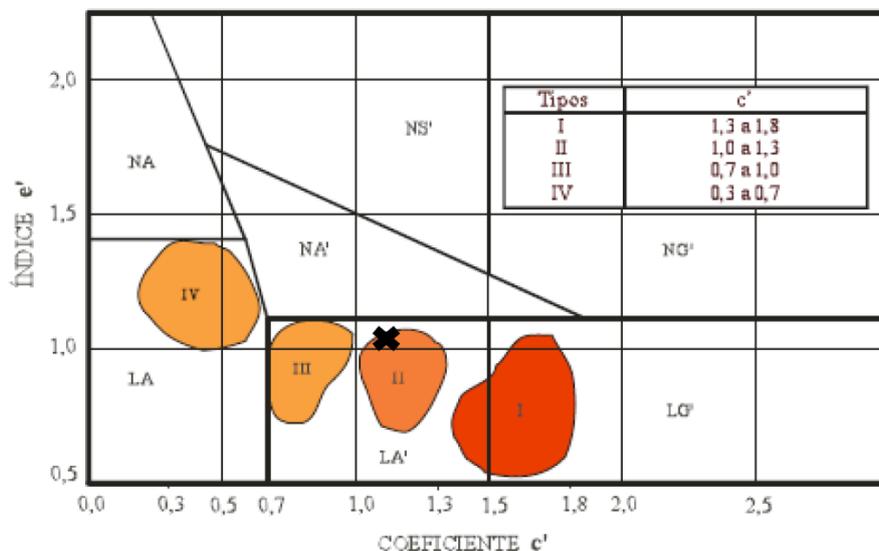


Figura 9. Classificação MCT (Villibor e Nogami, 2009)

O solo analisado apresenta comportamento laterítico, e pode ser utilizado em bases de SAFL. Este tipo de solos são os melhores para técnica construtiva para bases em SAFL, demonstrando qualidade para o uso de bases de pavimentos de baixo custo.

3.2.5. Contração

De acordo com a umidade ótima de cada corpo de prova (Figura 10), observou-se valores de contração entre 0,1 e 0,5%, o que satisfaz a condição apresentada por Villibor e Nogami (2009). Sugerindo uma coesão satisfatória do solo, resistente que não se soltará com os esforços provocados pelo tráfego.



Figura 10. Corpos de prova dos ensaios de contração

Para a verificação dos critérios de aceitação para o uso de SALF em base, dentro dos intervalos fornecidos por Villibor e Nogami (2009), comparando com os resultados obtidos na amostra coletada, a Tabela 6 exibe os dados encontrados nos ensaios da Metodologia MCT e apresenta uma comparação aos critérios de aceitação para o uso de base.

Tabela 6. Verificação dos critérios de aceitação

Propriedades mecânicas e hídricas	Intervalos admissíveis	Amostra
Mini-CBR (%)	≥ 40	46
Expansão sem sobrecarga (%)	$\leq 0,3$	0,2
Contração axial (%)	0,1 a 0,5	0,34

3.2.6. Comparação dos índices físicos

A Tabela 7 mostra um comparativo entre as classificações do solo estudado.

Tabela 7. Comparação entre as Classificações

Sistema de classificação	Granulometria com defloculante	Granulometria sem defloculante	Qualidade como base
SUCS	SC-SM	SC-SM	Ruim/Regular a Ruim
HRB	A-4	A-2-4	Fraco a pobre
MCT	LA'	LA'	Excelente

Este comparativo reforça a incoerência da metodologia tradicional de classificação de solos quando empregada em solos de clima tropical, comprovando que, quando devidamente compactados, os solos tropicais apresentam baixos valores de expansão e valores altos de CBR, sendo ótimos materiais para bases (Villibor e Nogami, (2009)).

4. Conclusões

Através da diferença entre os ensaios de granulometria com defloculante e sem defloculante, observou-se um comportamento típico de um solo laterítico, onde as partículas de argila se organizam formando agregados com fração de areia.

Para o solo laterítico a compactação realizada pelo método tradicional e pelo mini-Proctor não apresenta diferença significativa nos valores de densidade seca máxima e umidade ótima, sendo o método mini-Proctor bem mais rápido e simples.

Os ensaios realizados aplicando a Metodologia MCT possibilitam afirmar que o solo arenoso fino laterítico estudado apresenta capacidade de suporte elevada, baixa expansão e baixa contração por secagem, sendo estes alguns dos requisitos importantes propostos por Villibor e Nogami (2009) para o uso destes solos como base de pavimentos.

A partir da comparação entre os sistemas de classificação SUCS, HRB e MCT, conclui-se que o método que se apresenta de forma mais eficiente, mesmo com certa dificuldade e necessidade de tempo para aplicação da metodologia, é a Classificação MCT, já que é o sistema que classifica solos de clima tropical e retrata de forma real o comportamento dos solos em campo.

Além das análises realizadas serão necessários mais ensaios de modo a verificar



outras propriedades hidromecânicas dos solos lateríticos que, segundo Villibor e Nogami (2009), deveriam ter os SALF para sua utilização como base de pavimentos, dentre elas podem ser mencionados mini-CBR imerso e permeabilidade.

5. Referências

- ARAUJO, C. B. C.; DANTAS, S. (2014) “Caracterização de Solos Lateríticos para Utilização Pavimentos de Baixo Custo na Cidade de Canindé / CE”, XVII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, COBRAMSEG, Goiânia.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 6457 (2016) “Amostras de solo: Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização”, Rio de Janeiro.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 6459 (2016) “Solo - Determinação do Limite de Liquidez”, Rio de Janeiro.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 6458 (2016) “Solo - Grãos de Solos que passam na peneira de 4,8 mm - Determinação da Massa Específica”, Rio de Janeiro.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 6459 (2016) “Solo - Determinação do limite de liquidez”, Rio de Janeiro.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 6502 (1995) “Rochas e solos”, Rio de Janeiro.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 7180 (2016) “Solo - Determinação do Limite de Plasticidade”, Rio de Janeiro.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 7181 (2016) “Solo - Análise Granulométrica”, Rio de Janeiro.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 7182 (2016) “Solo - Ensaio de Compactação”, Rio de Janeiro.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 9895 (2016) “Solo - Índice de Suporte Califórnia”, Rio de Janeiro.
- COSTA, A. C. DA. (1988) “Estudos Tecnológicos de Pavimentos de Baixo Custo na Bahia”, Dissertação de Mestrado - Escola Politécnica da Faculdade de São Paulo, São Paulo.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM, DNER-CLA259 (1996) “Classificação de solos tropicais para finalidades rodoviárias utilizando corpos-de-prova compactados em equipamento miniatura”, São Paulo.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM, DNER-ME-254 (1994) “Solos Compactados em Equipamento Miniatura - Mini-CBR e expansão”, São Paulo.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM, DNER-ME-256 (1994) “Solos Compactados com Equipamento Miniatura - Determinação da Perda de Massa por Imersão”, São Paulo.



- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM, DNER ME 258 (1994) “Solos Compactados em Equipamento Miniatura - Mini-MCV”, São Paulo.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE, DNIT (2006) “Manual de pavimentação” IPR.
- EMBRAPA (2011) “Manual de métodos de análise de solo”, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, Rio de Janeiro.
- MARAGON, M. (2004) “Proposição de estruturas típicas de pavimentos para Região de Minas Gerais utilizando Solos Lateríticos locais a partir da Pedologia, Classificação MCT e Resiliência”, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- MARSON, M. (2004) “Análise crítica da classificação MCT para solos tropicais. Instituto Tecnológico de Aeronáutica”, São José dos Campos, São Paulo. p. 216.
- NOGAMI, J. S.; VILLIBOR, D. F. (1995) “Pavimentação de baixo custo com solos lateríticos”, São Paulo.
- VILLIBOR, D. F.; NOGAMI, J. S. (2009) “Pavimentos Econômicos - Tecnologia do uso dos Solos Finos Lateríticos”, Arte & Ciência. 292 p., São Paulo.