



ETIS

Journal of Engineering,
Technology, Innovation
and Sustainability

Caracterização de Solos Lateríticos e Saprolíticos para Pavimentação de Baixo Custo

Gabriela de Oliveira Gomes¹, Jéssica Martins Ramos², Vanessa Honorato Domingos³

RESUMO

O presente artigo aborda as características técnicas e discorre sobre a análise comparativa entre dois tipos de solos tropicais, a serem utilizados na pavimentação brasileira. A demanda por pavimentação está diretamente relacionada ao aumento do tráfego, fazendo-se necessário o aumento de vias pavimentadas. O solo, como o principal material constituinte, deve apresentar características ideais para exercer sua função em cada camada. O objetivo da comparação apresentada neste artigo é conferir as propriedades mecânicas e geotécnicas de cada material, de modo a beneficiar a pavimentação de baixo custo. Para tanto, foram adotados dois tipos de solos expressivos: laterítico e saprolítico, ambos retirados de jazidas naturais. O primeiro material foi retirado às margens da GO 230, no km 13, na localidade de Itapuranga-Go. Já o segundo no setor recanto das minas gerais, na cidade de Goiânia-Go. Para a obtenção dos dados apresentados no trabalho foram realizados ensaios laboratoriais, de acordo com as normas brasileiras regulamentadoras. Após a análise desses indicadores percebeu-se que as propriedades do solo laterítico se destacam em relação as propriedades do solo saprolítico. Além dos resultados obtidos, é necessário submeter ambos os solos a outros ensaios que aprofundem as características de cada solo para a aplicação no pavimento.

PALAVRA-CHAVE: Solos tropicais; Pavimentação; Ensaio.

ABSTRACT

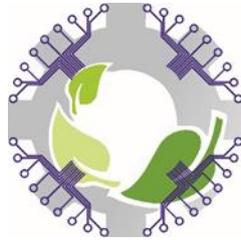
This article discusses the technical characteristics and discusses the comparative analysis between two types of tropical soils to be used in Brazilian paving. Demand for paving is directly related to increased traffic, making it necessary to increase paved roads. Soil, as the main constituent material, must have ideal characteristics to perform its function in each layer. The purpose of the comparison presented in this paper is to check the mechanical and geotechnical properties of each material in order to benefit the low cost paving. Therefore, two types of expressive soils were adopted: lateritic and saprolitic, both extracted from natural deposits. The first material was taken from the banks of GO 230, at km 13, in Itapuranga-Go. Already the second in the nook sector of the general mines, in the city of Goiânia-Go. To obtain the data presented in the study, laboratory tests were performed according to the Brazilian regulatory standards. After the analysis of these indicators it was noticed that the lateritic soil properties stand out in relation to the saprolitic soil properties. In addition to the results obtained, it is necessary to subject both soils to further tests that deepen the characteristics of each soil for application to the pavement.

KEY WORDS: Tropical soil; Paviment; Tests.

¹ Acadêmica do curso de Engenharia Civil – Faculdade Evangélica de Jaraguá. E-mail: bilegabriela@gmail.com

² Acadêmica do curso de Engenharia Civil – Faculdade Evangélica de Jaraguá. E-mail: jessicamart.jm44@gmail.com

³ Mestra pelo Programa de pós-graduação em Geotecnia, Estruturas e Construção Civil, Faculdade Federal de Goiás – UFG. E-mail: vhdomingos@gmail.com



INTRODUÇÃO

Discussões e relevâncias da pesquisa

O pavimento é uma estrutura construída por meio de camadas, obtida pelos serviços de terraplanagem (SANTANA, 1993; SOUZA, 1980). É uma obra necessária em todo território uma vez que traz comodidade e segurança para a população. O pavimento demanda de altos investimentos por toda sua complexidade na execução. Por ser uma obra necessária e levando em consideração a atual recessão econômica do Brasil, faz-se necessário a busca por soluções que possa minimizar os custos sem prejudicar a qualidade.

Por ser utilizado em todas as camadas subjacentes ao revestimento o solo é utilizado em grande escala na pavimentação (SENÇO, 1997). Ainda que seja um material abundante na natureza, grande parte do orçamento de um pavimento se dispõe de sua utilização. Uma possível solução para minimizar esses gastos, é fazer uma caracterização adequada dos solos locais para viabilizar sua utilização.

Os parâmetros fundamentais que julgam se o comportamento de um solo é adequado para cada camada, são impostos pelas normas técnicas brasileiras, sendo: granulometria, plasticidade, expansão e o índice de suporte Califórnia (ISC). Com a investigação desses parâmetros em solos locais, quando adequados à solicitação de projeto, é possível viabilizar economicamente as construções de vias.

No Brasil, um tipo de solo expressivo é o solo tropical, solo característico de várias regiões do território, este apresenta características peculiares devido ao seu processo geológico e é dividido em dois grandes grupos: laterítico e saprolítico (VILLIBOR et. al, 2000).

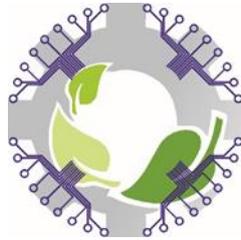
Villibor e Nogami (2009) definem solo laterítico como maduro, superficial, bem drenado e com uma coloração tipicamente avermelhada, pois sofre o processo de laterização. Segundo Munsell (2009) este processo é denominado pelo enriquecimento do solo com óxido de ferro, e a predominância de caulina como argilomineral do solo, por isso a cor avermelhada. Já o solo saprolítico, é um solo residual jovem, decorrente da decomposição de uma rocha *in situ*, mantendo visivelmente as características da rocha mãe, com exceção da consistência (MUNSELL, 2009; PINTO, 2006).

Ao se fazer a comparação através de ensaios geotécnicos dos dois solos tropicais citados, é constatado que o solo laterítico se mostra mais eficaz do que o solo saprolítico. Essa análise mostra que para aplicação de pelo menos um solo tropical na pavimentação brasileira pode ser eficiente. Contudo ainda há a necessidade de fazer ensaios que mostrem a capacidade do solo afim de resistir no pavimento.

MATERIAIS E MÉTODOS

Materiais

Foram utilizados dois tipos de solos: o primeiro de um depósito saprolítico e o segundo de um depósito laterítico. Foram retirados cerca de 50kg de amostras deformadas para cada solo, por meio de escavação manual com auxílio de pás e



enxadas, evitando o primeiro metro de profundidade devido a presença de matéria orgânica.

O solo saprolítico localizado nas coordenadas S 16°37'59.1096" e W49°11'4.5528" foi retirado a sete metros de profundidade na região leste da cidade de Goiânia-GO, próximo a BR 153 e ao CEASA, no Setor Recanto das Minas Gerais, conforme ilustrado na Figura 1(a). Pela análise tátil visual esse solo apresentou uma coloração rosada com mosqueados cinzas e fragmentos de rocha com pouca resistência ao manuseio, conforme a Figura 1(b).



(a)



(b)

Figura 1 – Localização e coleta do solo saprolítico: (a) local de retirada da amostra (b) in loco
Fonte: Os Autores

O solo laterítico localizado nas coordenadas: S 15°33 '13.3838 " e W 49°46 '5.6064 " foi recolhido a dois metros de profundidade em um talude localizado às margens da GO 230, no km 13, na localidade de Itapuranga-GO, como ilustrado na Figura 2 (a). Conforme pode ser visto na Figura 2 (b), 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 e presença de torrões sem fragmentos de rocha.

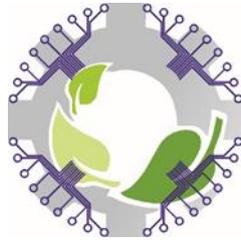


Figura 2 – Localização e coleta do solo laterítico: (a) local de retirada da amostra (b) in loco
Fonte: Os Autores

Métodos

Com o intuito de cumprir os objetivos da análise o procedimento experimental foi realizado no Laboratório de solos do Centro Tecnológico do Centro Universitário de Anápolis - UniEvangélica, localizado em Anápolis-GO, com a colaboração de seus técnicos: Rafaela Vieira Lima e Ângela Vieira Nogueira.

Assim sendo, foram realizados os seguintes ensaios: massa específica dos grãos (DNER 093, 1994), umidade higroscópica NBR 6457 (ABNT 1986), análise granulometria NBR 7181(ABNT 2016) versão corrigida 2:2018, limite de liquidez NBR 6450 (ABNT 2016) versão corrigida 2017, limite de plasticidade NBR 7180 (ABNT 2016) e compactação NBR 7182 (ABNT 2016).

Preparação do solo para ensaio

Os dois solos foram retirados das jazidas no seu estado natural. Ambos foram primeiramente secos ao ar e, em sequência, levados para o laboratório para o destorroamento (Figura 3), peneiramento e armazenamento em sacos plásticos. Para cada ensaio foi separado e preparado a quantidade normatizada e os procedimentos descritos na NBR 6457 (ABNT,1986).

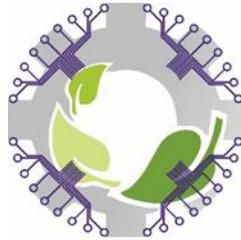


Figura 3 - Solos destorroados: saprolítico (a esquerda) e laterítico (a direita). Fonte: Os Autores

Umidade higroscópica

Quando uma determinada quantidade de solo é retirada da sua jazida e seca ao ar, o seu teor de umidade tenderá a reduzir, até um certo limite. Portanto, mesmo deixando a amostra exposta ao ar e radiação solar, por um longo tempo, haverá uma umidade que permanecerá, denominada umidade higroscópica (PINTO,2006).

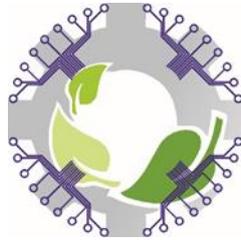
Para determinar essa umidade foi utilizado os procedimentos da NBR 6457 (ABNT,1986). Os procedimentos foram executados três vezes para cada material pedogenético, a fim de se obter um resultado médio. As amostras foram colocadas na estufa durante 24h até a sua constância de massa. Obteve-se a umidade higroscópica nos materiais conforme o item A-4.

Análise granulométrica

A análise granulométrica é um dos ensaios que identificam as partículas que constituem um determinado solo. A NBR 7181(ABNT,2016) é a que regulamenta esse ensaio, e foi usado para o ensaio os seus procedimentos.

Essa análise consiste em duas fases: a de peneiramento e de sedimentação. O peneiramento, conforme a Figura 4(a), é subdivido em grosso (diâmetros superiores a 2,0 mm) e fino (diâmetros entre 2 e 0,075 mm), portanto essa fase identifica as frações de pedregulho e areia presentes no solo. A sedimentação, conforme a Figura 4 (b), é realizada para diâmetro inferiores a 0,075mm e, portanto, identifica as frações de silte e argilas no solo. O resultado da análise é obtido de forma gráfica através de uma curva, chamada Curva Granulométrica, de material passante (%) e diâmetro dos grãos (mm).

O peneiramento é a forma mais direta de obter resultados dos diâmetros dos grãos, onde ocorre a passagem do material por peneiras de vãos distintos. Esse método permite identificar o diâmetro dos grãos superiores a 0,075mm, que é a menor malha de peneira. Conforme a Figura 4 (a), as peneiras utilizadas no peneiramento fino são: 2.0, 1.2, 0.6, 0.3, 0.15 e 0.075 mm. Para o peneiramento grosso foram manuseadas as peneiras: 50, 38, 25, 19, 9.5, 4.8, e 2.0mm. Já para os grãos inferiores a essa dimensão



realiza-se a sedimentação, onde dispersa-se as partículas de solo em água, com e sem a presença de defloculante.

A sedimentação é baseada na Lei de Stokes na qual as partículas num meio aquoso depositam-se com velocidades proporcionais aos seus diâmetros. O item 4.3.2 da NBR 7181 (ABNT, 2016) propõem o uso de defloculante (hexametáfosfato de sódio) na sedimentação, que atua como um dispersor, fazendo com que os grãos dos solos que estão cimentados e conectados por óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio se soltem. Assim, em solos tropicais, o uso de defloculante garante mais confiabilidade do que o ensaio somente com água. A Figura 4 (b) mostra a diferença do ensaio de sedimentação com e sem o uso do defloculante, onde a proveta da esquerda contém o dispersor, enquanto a proveta da direita apenas a mistura de água e solo.

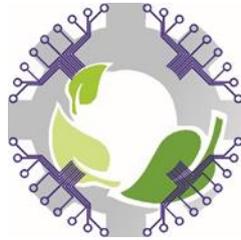


Figura 4 – Análise granulométrica: (a) Peneiramento fino e (b) sedimentação
Fonte: Os Autores

Ensaio de Limite de Liquidez e Plasticidade

O solo quando submetido a certas umidades mostra comportamentos diferentes, podendo ser plástico, líquido ou quebradiços. A umidade que o solo possui entre o comportamento plástico para o líquido é chamada de limite de liquidez. Já a umidade entre o plástico e quebradiço é chamada de limite de plasticidade. Ambos os ensaios mostram a umidade na transição de estados. A diferença entre o limite de liquidez e plasticidade é conhecido como IP, que é o índice de plasticidade (PINTO, 2006).

O procedimento do limite de liquidez foi feito a partir da padronização da NBR 6459 (ABNT, 2017). Para a realização do ensaio foi utilizado o aparelho de Casagrande devidamente aferido, onde foi efetuado cinco pontos da relação entre a umidade e o número de golpes necessários para fechar a ranhura. Em seguida é feito uma análise do gráfico para buscar a umidade correspondente a 25 golpes que conforme o item 4.2.2 da norma, é a quantidade que representa o limite de liquidez.



O ensaio de limite de plasticidade foi realizado de acordo com a normatização da NBR 7180 (ABNT, 2016). Foi utilizado uma placa de vidro e uma lâmina flexível para a execução do ensaio. Como o item 4.2.6 descreve, deve haver pelo menos três amostras de solo para calcular a média aritmética das umidades e determinar o limite de plasticidade do solo. E o item 5.1.1 determina que para o resultado ser satisfatório nenhum valor das umidades não deve ultrapassar de 5% de diferença da média.

Ensaio de Compactação

O ensaio de compactação busca estabelecer a umidade em que um dado solo atinja o peso específica seco máximo. Durante o processo de saturação, o solo se comporta diferenciadamente com relação as propriedades mecânicas e hidráulicas, ora se mostrando mais resistente ao cisalhamento (ramo seco) e outrora menos permeável e erodível (ramo úmido). Portanto, com o ensaio de compactação visa-se encontrar um ponto de umidade em que o solo terá melhor desempenho e se comporte de maneira mais resistente, menos compressível e erodível (PINTO,2006).

Para o ensaio de compactação foi utilizado o método apresentado na NBR 7182 (ABNT,2016). Foi utilizado o soquete e o cilindro de Proctor pequeno, pois ambos os solos passaram integralmente na peneira de 4,8mm, conforme orientações do item 4.4 da norma. Sendo assim, a energia adotada no ensaio foi a Normal (593 kg.m/m^3): com 3 camadas de solo atingidos por 26 golpes cada uma, de acordo com a prescrição do item 4.1.

O resultado proposto pela NBR 7182 (ABNT,2016) consiste em criar um plano cartesiano com 5 pontos de umidade (%) por peso específico aparente (kN/m^3), com umidades variadas: duas no ramo seco, duas no ramo úmidos e uma próxima de umidade ótima.

RESULTADOS

Os resultados obtidos através de ensaios laboratoriais são apresentados abaixo.

Ensaio de granulometria

Para a obtenção das curvas granulométricas, apresentadas no Gráfico 1, foi executado os ensaios de peneiramento grosso, peneiramento fino e a sedimentação com e sem o uso do defloculante (hexametáfosfato de sódio) tanto para o solo laterítico quanto para o solo saprolítico.

Assim como relatado por Manso (1999), Pinto (2006) e Angelim (2011), nas curvas com a ausência do uso de defloculante o ensaio indicou um solo com diâmetros maiores, pois as agregações de argila e silte não foram desfeitas, portanto, nessas curvas não ocorreu a fração argila. Também é possível notar que no solo laterítico, o uso de defloculante foi mais eficiente, revelando uma maior porcentagem de partículas argilosa (27,76%) na granulometria do solo.

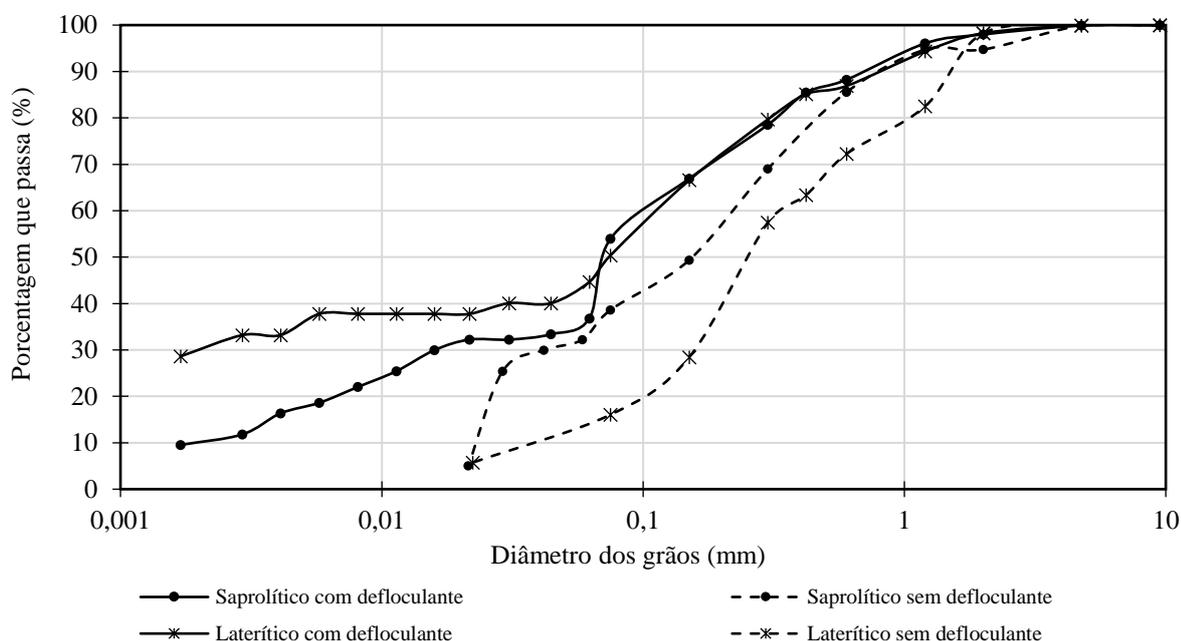


Gráfico 1- Curva Granulométrica
Fonte: Os Autores

A Tabela 1 apresenta a representatividade das frações de argila, silte, areia e pedregulho, nos solos estudados, de acordo com a NBR 6502 (ABNT, 1995). O uso do defloculante propiciou no solo laterítico um aumento de três vezes na quantidade de fração fina do solo (silte e argila). Já no solo saprolítico, o aumento na parcela de finos foi discreto, ocorrendo o aparecimento da fração argilosa e a redução da fração siltosa. O que converge com o proposto pela metodologia MCT, que pondera que nos solos lateríticos a fração que passa na peneira de 0,075 mm é predominantemente argilosa, enquanto nos solos saprolíticos pode ser argilosa ou siltosa.

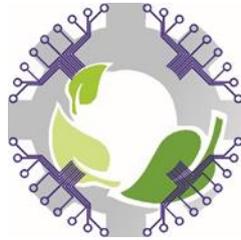
O solo laterítico foi classificado sem e com o uso de defloculante, respectivamente, como uma areia siltosa e uma areia argilosa. Já o solo saprolítico foi enquadrado sem e com o uso de defloculante, respectivamente, como: areia siltosa e areia siltosa com pouca argila.

Tabela 1- Porcentagem de cada solo (Arquivo próprio, 2019).

Solo	Método	Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)	pedregulho (%)
laterítico	sem defloculante	29,76	14,88	53,60	1,75
	com defloculante	0	13,13	85,11	1,75
saprolítico	sem defloculante	10,11	26,77	61,10	2,02
	com defloculante	0	32,23	65,75	2,02

Limites de Atterberg

Em ambos os solos, com o uso de defloculante, a fração de finos apresentou 1/3 ou mais da composição do material, logo o sistema unificado de classificação dos solos



(SUCS) e o sistema rodoviário de classificação (HRB) preconizam que seja utilizado também o índice de plasticidade e o limite de liquidez para caracterizar e classificar os solos.

A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos através dos ensaios de limite de liquidez (LL) e limite de plasticidade (LP). 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. Os valores obtidos no ensaio de limites de Atterberg para o solo laterítico foram similares aos que Nogami e Villibor (1971) encontraram para os solos arenosos finos e lateríticos de São Paulo: valores de LL entre 20 e 30% e valores de IP entre 5 e 10%.

Pela classificação da 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. Conforme explicado por Nogami e Villibor (1994), esta é uma fragilidade da carta de plasticidade de Casagrande, onde não é possível distinguir o solo laterítico do não laterítico, podendo os dois serem classificados em um mesmo grupo.

Através da classificação HRB o solo laterítico foi classificado como um A-4 e o saprolítico como um A-7-5, ambos com desempenho de fraco a pobre para o pavimento.

Ensaio de compactação

A Tabela 2 mostra as propriedades obtidas no ensaio de compactação, e o Gráfico 2 apresenta as curvas de compactação de ambos os solos.

Tabela 2-Limites de Atterberg

Propriedades	Resultados Saprolítico	Resultados Laterítico
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
HRB	A-7-5	A-4

Fonte: Os Autores

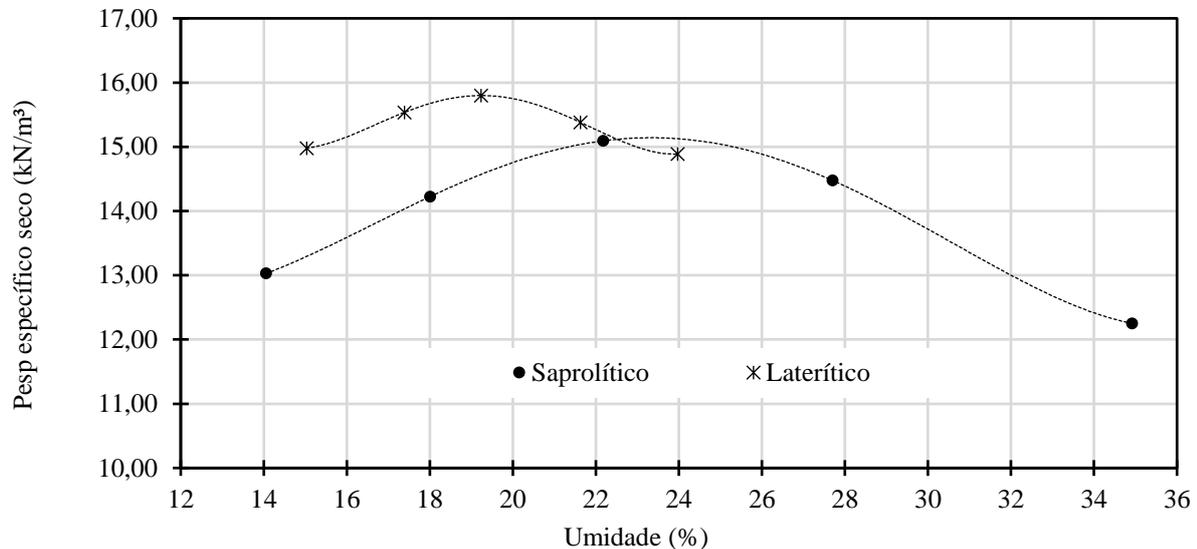
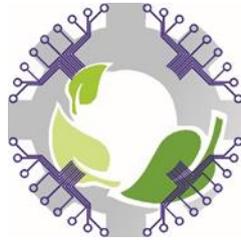


Gráfico 2 – Curva de compactação. Fonte: Os Autores

Os solos possuem uma curva típica de solo argiloso com a massa específica menor que a umidade e formato abatido. Esse tipo de curva normalmente é caracterizado por um solo argiloso. Mas as classificações utilizadas definiram ambos os solos de material siltoso.

As características apresentadas na curva de compactação dos solos tropicais através do ensaio de compactação Proctor, não respondem bem ao desempenho real desse solo. Na análise tátil visual é verificado sua cor e sua macroestrutura como Nogami (1971) indica, e as características observadas são diferentes dos resultados.

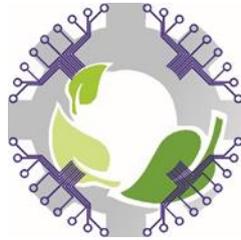
Nogami e Villibor (1994) definiram um ensaio, MCT (miniatura, compactado, tropical), para enquadrar corretamente as características dos solos tropicais. Assim, esse ensaio contribui para melhor verificação das peculiaridades desse solo.

Apesar dos resultados não serem condizentes com a verdadeira capacidade dos solos é analisado uma observação, que acontece também nos ensaios MCT. A densidade máxima do solo laterítico é superior e necessita de menos umidade do que o solo saprolítico.

Tabela 3– Densidade e umidade ótima

Propriedades	Resultados Saprolítico	Resultados Laterítico
Densidade máxima (γ_d) - Proctor Normal	15,09 KN/m ²	15,80KN/m ²
Umidade ótima (ω_{ot}) - Proctor Normal	22,18 %	19,23 %

Fonte: Os Autores



CONSIDERAÇÕES FINAIS

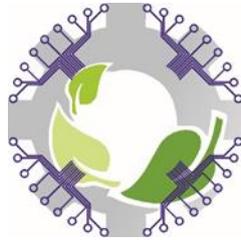
A partir dos ensaios e estudos bibliográficos do solo saprolítico e solo laterítico, foi possível concluir que:

- Os métodos de classificação dos solos do sistema unificado e sistema rodoviário se baseiam na experiência norte-americana de solos transportados que ocorre devido ao clima temperado destes países (PINTO,2006). Por isso quando aplicado esses métodos nos solos brasileiros que possui clima e índice pluviométrico altos, eles são considerados impróprios para aplicação no solo.
- O estudo aprofundado de solo tropical mostra a necessidade de buscar a sua caracterização em classificações que condizem com suas peculiaridades.
- No ensaio de granulometria os solos em questão mostram uma grande diferença das curvas na presença de defloculante, principalmente o solo laterítico, pelo fato de conter cimentação natural.
- Na classificação SUCS tanto o laterítico como o saprolítico foram classificados em ML-silte de baixa compressibilidade.
- A plasticidade e consistência dos solos além do teor de umidade e da forma dos grãos depende também da sua composição química e mineralógica, por esse fato os solos tropicais em questão, que possuem grande grau de intemperismo foi classificado em solos de baixa de compressibilidade.
- A curva de compactação de ambos os solos se caracteriza em uma curva abatida típica de solo argiloso. O que chama a atenção é a densidade máxima dos solos serem próximas, mas ainda assim a do solo saprolítico se mostra inferior na densidade e necessita de mais umidade para alcançá-la.
- Com as análises feitas, foi possível concluir que o solo laterítico é um solo com maior resistência mecânica que o solo saprolítico. Mas para afirmar que algum dos dois solos podem ser aplicados no pavimento ainda é necessário realizar o ensaio de ISC, ou o MCT.
-

REFERÊNCIAS

ANGELIM, R. R. **Desempenho de Ensaios Pressiométricos em Aterros Compactados de Barragens de Terra na Estimativa de Parâmetros Geotécnicos**- Tese de Doutorado em Geotecnia- Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia/ Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Brasília. 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6457. **Amostras de Solo:Preparação para Ensaios de Compactação e Ensaios de Caracterização**. Rio de Janeiro. Agosto, 1986.



ETIS

Journal of Engineering,
Technology, Innovation
and Sustainability

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6459. **Determinação do Limite de Liquidez**. Rio de Janeiro. Outubro, 2017.

_____. NBR 7180. **Determinação do Limite de Plasticidade**. Rio de Janeiro. Outubro, 2016.

_____. NBR 7181. **Análise Granulométrica**. Versão corrigida 2:2018. Rio de Janeiro. Dezembro, 1984.

_____. NBR 7182. **Solo- Ensaio de Compactação**. Rio de Janeiro. Agosto, 2016.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM-MT. **Solos- Determinação da densidade real**. DNER-ME 093. 1994.

MANSO, E. A. **Análise Granulométrica dos Solos de Brasília pelo Granulômetro a Laser**. Dissertação de Mestrado em Geotecnia – Universidade de Brasília: Faculdade de Tecnologia Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Brasília. 1999.

MUNSELL, R. **Soil Color Charts. New Widson: Kollmorgen Instruments-** Macbeth Division, 1994. Versão 2009.

NOGAMI, J. S. **A Importância da Suplementação dos Resultados de Ensaio Geotécnicos para Finalidades Rodoviárias com Dados Geológicos e Correlatos**. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Conselho Nacional de Pesquisas. Rio de Janeiro. 1971.

NOGAMI, J. S. VILLIBOR, D. F. **Ampliação do Uso da Metodologia MCT no Estudo de Solos Tropicais para Pavimentação**. 28º Reunião Anual de Pavimentação. Belo Horizonte. 1994.

PINTO, C. D. **Curso básico de mecânica dos solos**. São Paulo, 2006.

SANTANA, H. **Manual de Pré-Misturados a Frio. IBP/ Comissão de Asfalto**. Rio de Janeiro, RJ, 1993.

SENÇO, W. **Manual de Técnicas de Pavimentação**. Editora Pini Ltda. Volume 1. São Paulo, SP: 1997.

VILLIBOR, D. F. et al. **Pavimentos de baixo custo para vias urbanas**. São Paulo, 2009.