

Estudo Comparativo entre a Classificação MCT e os Sistemas Tradicionais de Classificações Geotécnicas para Solos Brasileiros

Amanda Caldas Machado

Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Brasil, amandacaldas01@hotmail.com.

Lucas Deleon Ferreira

Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Brasil, lucas@em.ufop.br.

Bruno de Oliveira Costa Couto

Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Brasil, bruno.couto.amb@gmail.com.

Roberto Almeida Cunha Filgueiras

GERPRO, Belo Horizonte, Brasil, roberto@filgueiras.com.br.

Rosenaire Rezende de Souza

Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Brasil, rosenaire@yahoo.com.br.

RESUMO: As classificações geotécnicas surgiram com intuito de agrupar diferentes materiais que apresentem propriedades semelhantes em relação ao comportamento geotécnico. Dentre estas classificações, destacam-se o Sistema Unificado de Classificação dos Solos (USCS – Unified Soil Classification System) e a classificação para fins rodoviários HRB (Highway Reserach Board). Estas duas classificações apresentam diversas limitações quando aplicadas a solos tropicais, fato que levou alguns pesquisadores brasileiros a desenvolver uma metodologia específica para estes solos, denominada classificação MCT (Miniatura, Compactada, Tropical). Contudo a classificação MCT é mais complicada quando comparada as tradicionais, fato que leva a elaboração de alguns trabalhos voltados para tentativa de estabelecer correlações ou tendências entre o sistema de classificação MCT com os tradicionais USCS e HRB. Considerando este contexto, o trabalho em questão aborda um estudo comparativo entre os sistemas tradicionais de classificação geotécnica e a Metodologia MCT. Para tal, foram utilizados dados de caracterização geotécnica de 23 amostras de solos de diferentes regiões. Os resultados encontrados possibilitaram, primeiramente, uma correlação entre as classificações USCS e HRB, utilizando o disposto no manual de pavimentação do DNIT (2006), de forma que 100 % das amostras analisadas se encontram na faixa mais provável ou possível para a classificação USCS e vice-versa. Comparando os resultados das três classificações utilizadas, verifica-se uma correspondência do grupo A-7-6, da metodologia HRB com os grupos NG', LA, e LG' do sistema MCT. Nota-se ainda que solos com percentuais acentuados da fração silte, agrupados como NS' pela metodologia MCT, apresentam forte correspondência com as classes SC, classificação USCS, e com os grupos A-6 do sistema HRB. Ainda vale ressaltar que algumas das amostras classificadas como NA' apresentam tendência para o grupo CH, no sistema USCS e A-6, no sistema HRB.

PALAVRAS-CHAVE: Classificação Geotécnica, USCS, HRB, Metodologia MCT.

1 INTRODUÇÃO

Os sistemas de classificação dos solos possuem grande importância na engenharia, pois permitem o agrupamento de materiais com propriedades geotécnicas semelhantes, facilitando sua caracterização. Isso ocorre devido ao fato de se utilizar o solo em diversas estruturas de engenharia, tais como: aterros, barragens, obras de contenção, rodovias, fundações e carregamentos de edificações, sendo necessário que o profissional compreenda sua constituição e características ao longo de toda a área de influência da obra. Desta forma frequentemente, a geotecnia tenta obter parâmetros necessários à identificação e estimativa do comportamento geotécnico.

As classificações geotécnicas foram criadas com intuito de agrupar diferentes tipos de solos segundo categorias que apresentem características em comum relacionadas ao comportamento geotécnico. No entanto, para que uma classificação de solo seja apropriada a engenharia, ela deve agrupar solos de comportamento semelhantes, para que, quando se tenha um grande número de amostras, sejam ensaiadas apenas algumas que representem todos os solos que possuam o mesmo índice classificatório (Silva *et al.*, 2012).

No Brasil, as classificações mais difundidas correspondem ao USCS (Unified Soil Classification System) e ao HRB (Highway Research Board), ambos desenvolvidos em climas temperados e fundamentados na distribuição granulométrica e nos limites de Atterberg (limite de liquidez e limite de plasticidade) dos solos. A classificação unificada dos solos é mais apropriada a uma descrição de solos com finalidades e usos gerais, enquanto a classificação HRB se adapta melhor à avaliação do suporte, como estradas e aterros.

Apesar dos dois sistemas serem conhecidos por classificações tradicionais, apresentam limitações quando utilizados para solos tropicais. As restrições dos métodos tradicionais aos solos tropicais ocorrem, principalmente, devido as diferenças existente entre a natureza da fração de argila e de areia dos solos de regiões tropicais devido ao processo de

"laterização" que ocorre em regiões úmidas onde os cátions básicos são lixiviados, com consequente concentração residual de óxidos de ferro e de alumínio. Por causa desse processo, as argilas dos solos lateríticos constituem-se principalmente de argilo-minerais dos grupos das caulinitas e de hidróxidos de ferro e/ou alumínio, fazendo com que haja formação de agregações estáveis em presença de água (Fernandes dos Santos & Benneti Parreira, 2015). Essas agregações conferem aos solos tropicais boas características mecânicas de compactação, que quando compactado em condições ideais, há alta capacidade de suporte e baixa perda dessa capacidade quando imerso em água.

As classificações tradicionais preconizam que solos arenosos, areno-siltosos e areno-argilosos possuem uma qualidade de compactação consideravelmente superior em relação aos solos siltosos e argilosos. Entretanto, solos lateríticos do grupo A-4 e A-7-5, da classificação HBR, já foram utilizados com sucesso em bases de pavimentos. Portanto, devido à incoerência entre os resultados obtidos pelas classificações tradicionais e seu comportamento geotécnico em campo nas regiões tropicais, viu-se a necessidade de desenvolver metodologias que representassem esse tipo de solo.

Na década de 80, Nogami e Villibor propuseram um novo sistema de classificação denominado MCT (miniatura, compactada, tropical). O sistema de classificação propõe dois grupos de solos, lateríticos e não lateríticos, subdivididos em sete subgrupos (Nogami & Villibor, 1995). Os ensaios são feitos a partir de corpos de prova de 5 cm de diâmetro e 5 cm de altura, e são testadas características de compactação e imersão em água permitindo avaliar propriedades como contração do solo, permeabilidade, expansão, coeficiente de penetração d'água, coesão, capacidade de suporte e famílias de curvas de compactação (Nogami & Villibor, 1981).

Devido ao sistema de classificação MCT ser mais complexo quando comparados aos sistemas de classificações tradicionais, USCS e HRB, há grande interesse em correlacionar os três sistemas. Nesta pesquisa, realizou-se o

estudo comparativo entre as classificações citadas para 23 amostras disponibilizadas pela empresa GERPRO Gerenciamento e Projeto S/C Ltda.

2 DADOS UTILIZADOS

A empresa GERPRO Gerenciamento e Projeto S/C Ltda disponibilizou um banco de dados com aproximadamente 4200 amostras de solos dos mais diversos locais do Brasil, coletados entre os anos de 2007 e 2014. O banco de dados fornece informações variadas como umidade, densidade, análise granulométrica, limites de Atterberg e parâmetros relativos à compactação miniatura, resistência, permeabilidade, adensamento e classificação MCT (Miniatura, Compactada, Tropical).

3 METODOLOGIA

3.1 Classificação USCS e HRB

As amostras de solo utilizadas nesta pesquisa foram classificadas segundo o sistema USCS (Unified Soil Classification System). Descrito pela norma americana D2488-69 (ASTM, 1980). Desenvolvida em país de clima temperado, a classificação USCS classifica os solos em grossos, finos e orgânicos. Para a análise de solos grossos, usa-se com maior ênfase as características granulométricas, já para a análise dos solos finos, dá-se maior ênfase às características dos limites de consistência. Cada tipo de solo é simbolizado por um par de letras no qual a primeira letra representa o tipo de solo e a segunda letra representa as características granulométricas e de plasticidade.

Já a classificação HRB (Highway Reserach Board), descritas pela norma americana D3282-73 (ASTM, 1973), também desenvolvida em país de clima temperado, e classifica os solos em sete grupos (A-1 a A-7) em função da granulometria, limites de consistência e do índice do grupo. As amostras de solo utilizadas nesta pesquisa também foram classificadas segundo a HRB.

De forma a validar as classificações USCS e HRB das amostras utilizadas neste trabalho, procurou-se correlacionar as duas classificações

conforme apresentado no Manual de Pavimentação (DNIT, 2006) e como indicado nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1 – Interrelações entre USCS e HRB entre os solos da pesquisa

USCS	HRB		
	Mais provável	Possível	Possível, mas improvável
SM	A-1-b, A-2-4, A-2-5, A-2-7	A-2-6, A-4, A-5	A-6, A-7-5, A-7-6, A-1-a
SC	A-2-6, A-2-7	A-2-4, A-6, A-4, A-7-6	A-7-5
CL	A-6, A-7-6	A-6, A-7-5, A-4	-
CH	A-7-6	A-7-5	-

Tabela 2 – Interrelações entre HRB e USCS entre os solos da pesquisa

HRB	USCS		
	Mais provável	Possível	Possível, mas improvável
A-2-4	GM - SM	GC - SC	GW - GP - SW - SP
A-4	ML - OL	CL - SM - SC	GM - GC
A-6	CL	ML - OL - SC	GC - SM - GC - SC
A-7-6	CH - CL	ML - OL - SC	OH - MH - GC - GM - SM

3.2 Classificação MCT

O sistema de classificação MCT (Miniatura, Compacta, Tropical) tem a finalidade de melhorar a caracterização dos solos tropicais devido a incompatibilidades em relação aos sistemas tradicionais (USCS e HRB). O método criado por Nogami e Villibor na década de 80 separa os solos em dois grupos: Lateríticos e Não Lateríticos e se dividem em sete subgrupos (Tabela 3). A partir dos parâmetros de c' , associado à argilosidade, e do e' , associados à característica laterítica do solo, é possível

classificar às amostras utilizando o ábaco de classificação (NOGAMI & VILLIBOR, 1981).

Tabela 3 – Subgrupos classificação MCT

Subgrupos	Solos
LA	Areias lateríticas
LA'	Arenosos lateríticas
LG'	Argilosos lateríticos
NA	Areias não lateríticas
NA'	Arenosos não lateríticas
NS'	Siltosos não lateríticos
NG'	Argilosos não lateríticos

Houve então a classificação das amostras da pesquisa pelo método MCT, e com essas informações a comparação entre os três métodos. Posteriormente, comparou-se os resultados da pesquisa com as recomendações de (Nogami & Villibor, 1995).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Classificação das amostras

A classificação das amostras segundo os três sistemas (SUCS, HRB e MCT) é apresentada na Tabela 4, logo a seguir.

Analisando os resultados das classificações USCS e HRB com as interrelações propostas no Manual de Pavimentação (DNIT, 2006), apresentadas nas tabelas 1 e 2, observou-se que todos os resultados encontrados estavam dentro das condições “Possíveis” e “Mais Prováveis” (Tabela 5) de forma que as correlações estabelecidas se aplicam para os materiais estudados. Salienta-se que é esperado que as mesmas apresentassem resultados similares, uma vez que são fundamentadas nos mesmos ensaios: análise granulométrica e limites de consistência.

Tabela 4 – Classificações das amostras de acordo com cada sistema

Amostra	Classificações		
	USCS	HRB	MCT
1	CL	A-7-6	NG'

2	SC-SM	A-4	NA'
3	SC	A-4	NA'
4	SC	A-4	NA'
5	SC	A-4	NA'
6	SC-SM	A-2-4	NA'
7	SC-SM	A-4	NS'
8	SC	A-7-6	LA
9	CH	A-7-6	NA'
10	CL	A-6	NA'
11	CL	A-4	NA'
12	SC-SM	A-4	NS'
13	SC	A-6	NA'
14	SC	A-6	NS'
15	SC	A-6	NA'
16	CL	A-6	NA'
17	SC	A-4	NA'
18	SC-SM	A-4	NA'
19	CH	A-7-6	NA'
20	CL	A-6	NA'
21	SC	A-6	NA'
22	CL	A-4	NA'
23	CL	A-7-6	LG'

Tabela 5 – Resultados da comparação entre USCS e HRB e vice-versa

USCS / HRB		
	Possível	Mais provável
Amostras	2, 3, 4, 5, 7, 8, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 20, 21, 22	1, 6, 9, 19, 23
HRB/USCS		
	Possível	Mais provável
Amostras	2, 3, 4, 5, 7, 8, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 21, 22	1, 6, 9, 10, 19, 20, 23

Por meio das tabelas anteriores, verifica-se que as classificações ‘mais prováveis’ se deram para amostras que apresentavam maior percentual de finos (classificados como argilosos) e com índice de plasticidade

considerável. Analogamente, nota-se que as amostras que se enquadraram na classificação ‘provável’ são em sua maioria constituídas de fração granular (basicamente SC e SC-SM), isto pode estar condicionado aos efeitos de agregação destes materiais, sendo necessário para tal a determinação da granulometria sem a adição de defloculante ou o emprego de técnicas de caracterização química com a fluorescência de raios x. No caso das amostras compostas por materiais finos, torna-se importante a caracterização de argilominerais presentes por meio de difração de raios x, visando avaliar condições de agregação e dispersão.

Continuando o estudo a tabela 6 a seguir, apresenta os resultados das interrelações para cada amostra analisada na pesquisa entre os sistemas tradicionais e o sistema MCT de classificação.

Tabela 6 – Correlação entre os sistemas de classificação tradicionais com o sistema MCT para as amostras de solos analisadas.

		MCT			
		LA	LG'	NA'	NS'
USCS	SC	CL	SC-SM, SC, CH, CL	CL	SC-SM, SC
HRB	A-7-6	A-7-6	A-4, A-2-4, A-7-6, A-6,	A-7-6	A-4, A-6

Ao considerar primeiramente a classificação unificada (SUCS), observa-se que solos designados por CL foram enquadrados em três subgrupos diferentes da metodologia MCT (NA', NG' e LG'), de características completamente distintas, evidenciando que a natureza do argilomineral é determinante no comportamento do solo. Verifica-se também que solos granulares (SC, SC-SM) se enquadram nos subgrupos que não exibem características lateríticas (NA' e NS'), a exceção da amostra n° 11.

Considerando a classificação HBR, têm-se que os solos classificados por A-4 e A-6 apresentaram características não lateríticas, resultando em classificação NA' e NS'. Ao comparar os solos A-7-6, é observado que o mesmo se enquadra em diferentes subgrupos da metodologia MCT, lateríticos e não lateríticos,

o que pode estar diretamente relacionado a composição química destes solos.

Os resultados das classificações obtidas foram também comparadas com o critério proposto por Nogami e Villibor, 1995, conforme a Tabela 7.

Tabela 7 - Correlação entre os sistemas de classificação tradicionais com o sistema MCT para (NOGAMI & VILLIBOR, 1995)

		MCT					
		NA	NA'	NS'	NG'	LA	LA' LG'
USCS	SP		SM	SM			
	SM		SC	CL	MH	SP	MH
			ML	ML	CH	SC	ML
				MH			CH
HRB	A-2		A-2	A-4 A-	A-6		
			A-4	5 A-7-	A-7-	A-2	A-2 A-7-6
			A-7	5	5	A-4	A-7-5

Comparando-se os resultados entre a tabela 6 e a tabela 7 percebe-se que há distinções. Em relação a metodologia SUCS, os solos CL não se enquadram nos subgrupos que exibem características argilosas (NG' e LG'), porém verifica-se que o materiais granulares (SC-SM e SC) são agregados em subgrupos que, apresentam características não lateríticas. Considerando o sistema HRB, o mesmo é verificado para solos granulares, porém quando analisamos os solos A-7-6, nota-se que o mesmo se enquadra apenas no subgrupo LG', evidenciando mais uma vez que a composição mineralógica é extremamente importante na determinação da classificação MCT.

Estes resultados também foram observados, de forma similar, por Silva et al. (2012) que constatou a contribuição de solos do grupo CL no agrupamento NA'.

5 CONCLUSÕES

Os resultados encontrados não concordaram diretamente com as recomendações previstas por Nogami e Villibor 1995, sendo então uma contribuição para a inclusão de classificações aos agrupamentos. Considerando as inclusões referentes a classificação HRB, inclui-se nos grupos NG', LA, e LG' o grupo A-7-6 e nos grupos NA' e NS' o grupo A-6. Analisando as classificações USCS, inclui-se nos grupos NA',

NG' e LG' o grupo CL, e os grupos NA' e NS' receberiam a contribuição dos seguintes grupos CH e SC, respectivamente.

É importante ressaltar que as três metodologias de classificação são muito distintas e foram criadas com base em solos distintos (temperados, no caso dos sistemas USCS e HRB, e em solos do estado de São Paulo, no sistema MCT), e portanto ao comparar amostras de uma quarta região, é aceitável que haja contribuições às recomendações.

Como as amostras dessa pesquisa foram 83% retiradas durante as obras da Estrada de Ferro Vitória Minas durante o período de 2012 a 2014 os resultados desse estudo apresentam uma contribuição à correlação entre a classificação MCT e as tradicionais, USCS e HRB, para solos da região entre Minas Gerais e Espírito Santo.

Seria interessante abordar, em estudos futuros, aspectos mineralógicos e químicos do solo e suas relações com sistemas usuais de classificação e da metodologia MCT.

REFERÊNCIAS

- ASTM. (1990). *Annual book of ASTM standards. Section 4: Construction, v. 04.08: Soil and Rock; dimension stone; geosynthetics*. Philadelphia.
- DNIT. (2006). *Manual de Pavimentação. Publicação IPR - 791.2.ed.* Rio de Janeiro: Ministério dos Transportes, Instituto de Pesquisas Rodoviárias.
- Fernandes Dos Santos, E., & Benetti Parreira, A. (2015). *Estudo Comparativo de Diferentes Sistemas de Classificações Geotécnicas Aplicadas aos Solos Tropicais*. São Carlos.
- Nogami, J. S., & Villibor, D. F. (1981). *Uma nova Classificação de Solos para Finalidades Rodoviárias*. Rio de Janeiro.
- Nogami, J., & Villibor, D. (1995). *Pavimentação de baixo custo com solos*. São Paulo.
- Silva, S. F. Silva T. O. Pitanga H. N. Dias, L. S. Estudo Comparativo entre os sistemas tradicionais de classificações geotécnicas de solos e a classificação MCT. Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos (Cobramseg). Anais Cobramseg. 2012.