

CLASSIFICAÇÃO GEOTÉCNICA DOS SOLOS DA BACIA DO RIO ALMADA - BAHIA

Gustavo Barreto Franco

Pós-doutorando em Engenharia Agrícola – UFV
gustavopraia@yahoo.com.br

Eduardo Antônio Gomes Marques

Professor do Departamento de Engenharia Civil – UFV
emarques@ufv.br

César da Silva Chagas

Pesquisador da Embrapa/Solos
chagas.ri@gmail.com

Ronaldo Lima Gomes

Professor do Departamento de Ciências Agrárias e Ambientais – UESC
rlgomes@uesc.br

Cristiano Marcelo Pereira de Souza

Graduando em Geografia – UESC
cmgs-geografia@hotmail.com

RESUMO

Este estudo teve como objetivo classificar os solos, pelo Sistema Unificado, da Bacia Hidrográfica do Rio Almada - BHRA, localizada na região Sul do Estado da Bahia. Para tanto, foram realizados ensaios de granulometria, limites de Atterberg e massa específica dos sólidos. Os resultados possibilitaram verificar que solos com características diferentes foram enquadrados em um mesmo universo pela classificação unificada, caracterizando-se pelo mesmo comportamento mecânico.

Palavras-chave: Sistema unificado de classificação dos solos; limites de Atterberg; bacia hidrográfica.

GEOTECHNICAL SOIL CLASSIFICATION OF ALMADA RIVER WATERSHED - BAHIA

ABSTRACT

This study aimed to classify the soils, by Unified System, of Almada River Watershed – ARW, located in southern Bahia. For this purpose, tests were conducted for grain size, Atterberg limits and density of solids. The results show that the results showed that different soils were included in the same universe, according to the unified classification, characterized by the same mechanical behavior.

Keywords: Unified soil classification system; Atterberg limits; watershed.

1. INTRODUÇÃO

O solo é um elemento tridimensional na paisagem, isto é, ele tem profundidade, largura e comprimento; formado por processos físicos, químicos e/ou biológicos, cujos agentes de formação são basicamente o clima, os fatores topográficos e organismos e cujo material de origem é a rocha matriz subjacente. No entanto, pode também ser constituído por partículas provenientes de outras regiões, transportadas pela água, vento e/ou pelo gelo. A atividade pedogenética produz uma variabilidade temporal e espacial significativa dos

Recebido em 01/08/11
Aprovado para publicação em 05/04/12

solos, tornando-se um sistema dinâmico e aberto, tendo seu funcionamento determinado pela interação entre os seus subsistemas e os sistemas do entorno (OLIVEIRA, 2001).

Diante do exposto, entende-se que as propriedades dos solos variam entre pontos relativamente próximos, muitas vezes de forma significativa e sem causa visual aparente, ou seja, as mudanças espaciais não ocorrem em locais definidos com limites abruptos (VALERIANO e PRADO, 2001). Segundo Trangmar et al. (1986), essas variações são devidas às interações complexas dos processos e fatores de formação do solo, que atuam com intensidades diferentes, fazendo com que o solo comumente apresente um comportamento anisotrópico (HALL e OLSON, 1991).

Quando se estuda e tenta resolver problemas no solo do ponto de vista da engenharia, grandes massas são consideradas homogêneas. Julga-se, assim, que as suas propriedades, em qualquer ponto desta massa, sejam idênticas àquelas determinadas em laboratório. Assim, para avaliar as propriedades de uma extensa massa de solo a partir de ensaios laboratoriais, é fundamental compreender os processos responsáveis pela formação dos solos e como estes influenciam nas respectivas propriedades.

Resende (2002) afirma que o estudo do solo, diante da complexidade dos fatores e processos de formação, os quais dão ao solo características variadas, não permite a utilização de um modelo matemático que caracterize, de forma satisfatória, o seu comportamento como um todo.

Diante da diversidade dos solos que possuem comportamentos distintos, a engenharia geotécnica agrupou os solos diferentes com propriedades similares em grupos e subgrupos em conjuntos distintos, aos quais podem ser atribuídas determinadas propriedades geotécnicas (PINTO, 2006). Os sistemas de classificação fornecem uma linguagem comum para se expressar concisamente, sem descrições detalhadas, as características gerais dos solos, que são infinitamente variadas (DAS, 2007).

Dentre as classificações geotécnicas mais difundidas, destacam-se o Sistema Unificado de Classificação dos Solos (SUCS), criado por Arthur Casagrande em 1942, visando classificar os solos com o propósito de utilizá-los na construção de aeroportos durante a Segunda Guerra Mundial; e a classificação para fins rodoviários do HRB (*Highway Research Board*) (DAS, 2007).

Este artigo objetivou classificar os solos da Bacia Hidrográfica do Rio Almada - BHRA, localizada na região Sul do Estado da Bahia, sob o ponto de vista geotécnico, utilizando o SUCS. O conhecimento das características geotécnicas dos solos da BHRA torna-se de grande importância para subsidiar o uso e ocupação da bacia, permitindo que as áreas com aptidão para determinados usos (agrícola, industrial, urbano etc.) possam ser adequadamente utilizadas, preservando seus recursos naturais e respeitando a integração entre os fatores ambientais regionais e seus efeitos na bacia.

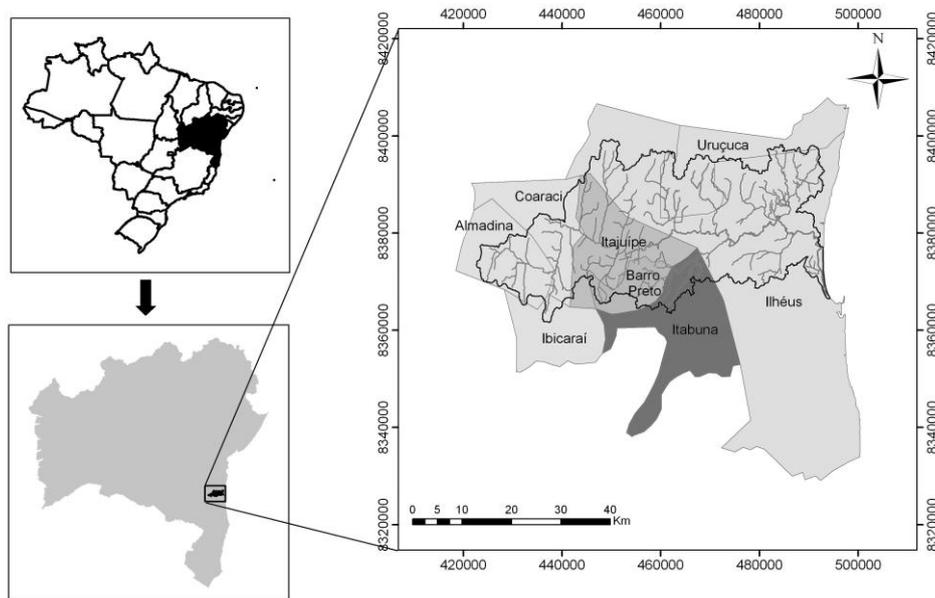
2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Objeto de estudo

O objeto de estudo desta pesquisa são os solos da BHRA (Figura 1), situada na região Sul do Estado da Bahia, abrangendo uma área de 1.575 km², englobando áreas dos municípios de Almadina, Coaraci, Ibicaraí, Barro Preto, Itajuípe, Itabuna, Ilhéus e Uruçuca. A BHRA destaca-se pela sua diversidade de ambientes naturais (Ex.: a paleobaía Lagoa Encantada, de idade Quaternária e os testemunhos paleontológicos e arqueológicos, com presença de paleossolos e sambaquis) e antropizados (Ex: áreas de pastagens degradadas).

A BHRA possui um levantamento de reconhecimento de alta intensidade de solos, na escala 1:50.000, no qual utilizou-se o método do caminhamento livre (EMBRAPA, 1995), em que as áreas foram intensamente percorridas de modo a correlacionar pontos de observação em locais representativos, fornecendo o máximo de informações para a caracterização dos solos no campo. Assim, foram utilizados 60 perfis de solos e 125 observações com informações do tipo de classe de solo e de descrição para elaboração do mapa pedológico (FRANCO, 2010).

Figura 1 - Localização da área de estudo.

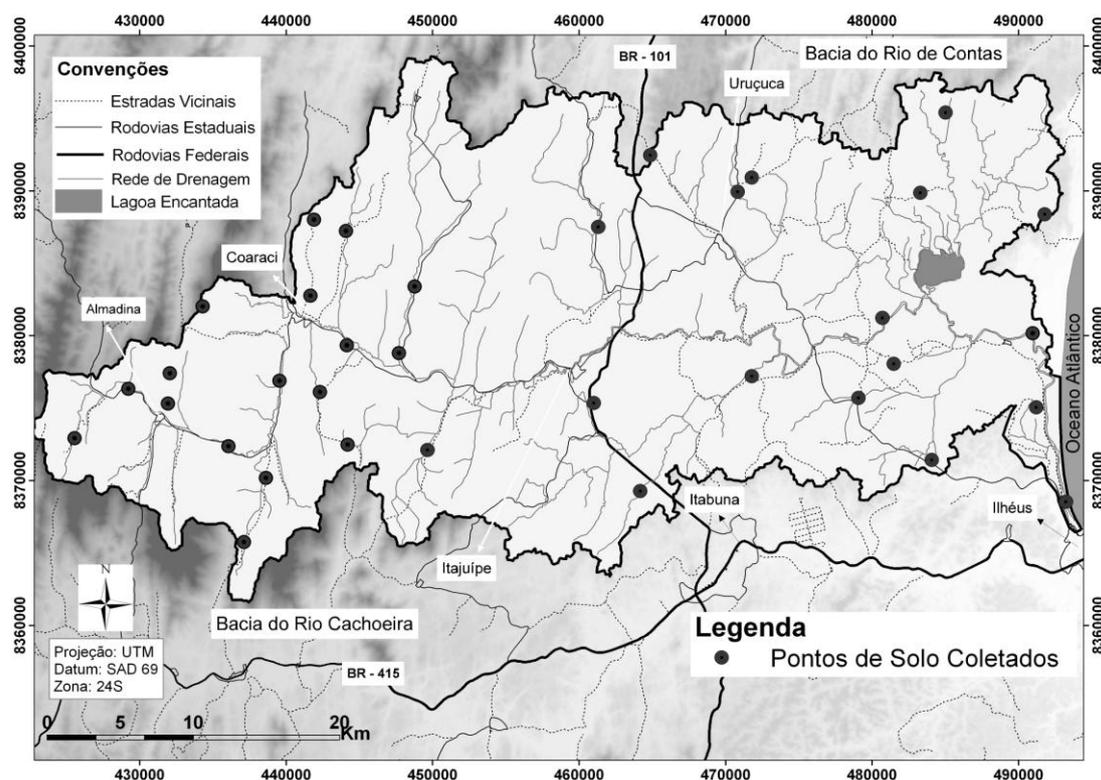


A descrição e amostragem dos horizontes de solos seguiram critérios estabelecidos por Santos et al. (2005). Os perfis de solos amostrados foram classificados segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006), de acordo com critérios morfológicos e características químicas, físicas e mineralógicas.

2.2. Ensaios de caracterização geotécnica

Para a classificação geotécnica selecionou-se 34 amostras de perfis representativos de solos (Figura 2) do horizonte diagnóstico, que são caracterizados por propriedades morfológicas, químicas, físicas e mineralógicas, definidas quantitativamente, que servem para identificar e distinguir classes de solo pela classificação pedogenética (CURI et al., 1993).

Figura 2 - Localização dos pontos de solo.



As amostras foram deixadas secar ao ar, posteriormente destorroadas, homogeneizadas, quarteadas e passadas na peneira nº 4 (4,8 mm). Em seguida, foram submetidas a ensaios de granulometria conjunta conforme a norma NBR 7181 (ABNT, 1984d), para a determinação de curvas granulométricas. Em seguida, foram realizados ensaios para a determinação dos limites de Atterberg, segundo as normas NBR 6459 – (ABNT, 1984a) e NBR 7180 (ABNT, 1984c). Também foi determinada a massa específica dos sólidos conforme a NBR 6508 (ABNT, 1984b). Desta forma, as amostras puderam ser classificadas conforme o SUCS.

Por fim, calculou-se o índice de atividade da argila (SKEMPTON, 1953) definido como sendo a razão entre o índice de plasticidade e a fração argila do solo (porcentagem em peso de partículas com diâmetro equivalente inferior a 0,002 mm). Os solos foram classificados em três grupos de acordo com sua atividade: (a) inativos – $A < 0,75$; (b) normais – $0,75 < A < 1,25$; e (c) ativos – $A > 1,25$. Esse índice refere-se às propriedades físico-químicas do mineral e dos minerais de argila em relação à proporção em que estes estão presentes nos solos, levando-se em consideração a influência dos argilominerais, óxidos de ferro e grãos de mica na natureza dos solos. Quanto maior for a atividade de um solo, mais importante é a influência da fração argila nas suas propriedades mecânicas (VARGAS, 1994). Assim, pretende-se com o seu uso substituir, mesmo de maneira incompleta, ensaios mais sofisticados de identificação dos minerais de argilas nos solos, como difratometria de raio X, espectrômetro de massa e análise térmica diferencial (MACHADO et al., 2007), que, por sua complexidade, não são utilizados para a classificação prática dos solos do ponto de vista geotécnico.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os solos 1, 4, 10, 19 e 27 foram pedologicamente classificadas como Luvisolos (T). Esta classe compreende solos não hidromórficos, rasos, constituído do horizonte B textural com presença de argila de atividade alta e saturação por bases alta, imediatamente abaixo de horizonte A ou horizonte E. O horizonte B textural é constituído de textura franco arenosa ou mais fina, com incremento de argila, resultante de acumulação ou concentração absoluta ou relativa decorrente de processos de iluviação e/ou formação *in situ* e/ou herdada do material de origem e/ou infiltração de argila ou argila mais silte, com ou sem matéria orgânica e/ou destruição de argila no horizonte A e/ou perda de argila no horizonte A por erosão diferencial. O conteúdo de argila do horizonte B textural é maior que o do horizonte A ou E.

Os solos 2, 3, 4, 5, 7, 8, 11, 12, 13 17, 20, 21, 24, 26, 28, 33 e 34 foram pedologicamente classificados como Argissolos (P). Esta classe possui como horizonte diagnóstico o B textural, diferenciando-se dos Luvisolos, por apresentar argila de atividade baixa, saturação de bases baixa e possuir um perfil de solo mais evoluído.

Os solos 6, 9, 15, 22, 25 e 30 foram classificados como Latossolos (L), que tem como característica o processo de latossolização (ferralitização ou laterização), intemperização intensa dos constituintes minerais primários, concentração relativa de argilominerais resistentes e/ou óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, com inexpressiva mobilização ou migração de argila, ferrólise, gleização ou plintitização. Constitui-se do horizonte diagnóstico B latossólico, com espessura mínima de 50 cm, textura franco arenosa ou mais fina e baixos teores de silte, cujos constituintes evidenciam avançado estágio de intemperização.

Os solos 14, 16, 23 e 29 foram classificados pedologicamente como Cambissolos (C), tendo como horizonte diagnóstico o B incipiente, caracterizado pela pedogênese pouco avançada evidenciada pelo desenvolvimento da estrutura do solo, variável quanto à textura, fertilidade, atividade da argila etc.

O solo 18 foi classificado pedologicamente como Espodossolo Ferrihumilúvico (ES). Esta classe tem o horizonte B espódico como horizonte diagnóstico, constituído de textura arenosa, caracterizado pelo processo de podzolização com eluviação de compostos de alumínio com ou sem ferro em presença de húmus ácido e conseqüente acumulação iluvial desses constituintes amorfos. Apresentam, usualmente, seqüência de horizontes A, E, B espódico, C, com nítida diferenciação de horizontes.

O solo 31 foi classificado pedologicamente como Gleissolo (G), típico de áreas alagadas ou sujeitas a alagamento (planícies fluviais e de maré) em relevo plano (declives inferiores a 3%),

depositados em ambiente de menor energia de transporte. Apresentam cores de redução (cinzentas e azuladas). São solos considerados compressíveis e chamados pela engenharia geotécnica de solos moles (SANTOS et al., 2009).

Por fim, o solo 32 foi classificado pedologicamente como Neossolo Quartzarênico (RQ) e destaca-se por ser pouco evoluído do ponto de vista pedogenético e sem a presença horizonte B diagnóstico. Ocorrem em relevo plano, ao longo dos rios e das zonas de planície costeira (terraços holocênicos). São arenosos, excessivamente drenados e profundos, constituídos de material sedimentar areno-quartzoso não consolidado.

A Tabela 1 apresenta os resultados dos ensaios de caracterização dos solos estudados, englobando a densidade de partículas, os limites de Atterberg, classificação unificada dos solos e o índice de atividade da argila.

Tabela 1 - Resultados dos ensaios geotécnicos.

Classes Pedológicas	Horizontes Diagnóstico	Y_s (g/m ³)	LL (%)	IP (%)	SUCS	Atividade da argila
1. T	Bt	2,41	46,48	21,8	CL	0,64
2. P	Bt	2,5	76,84	37,6	MH	0,70
3. P	Bt	2,66	90,42	44,72	MH	0,77
4. T	Bt	2,5	46,9	26,22	CL	0,74
5. P	Bt	2,68	96,56	51,46	MH	0,74
6. L	Bw	2,61	92,95	38,98	MH	0,56
7. P	Bt	2,69	86,44	43,24	MH	0,71
8. P	Bt	2,69	82,46	37,45	MH	0,76
9. L	Bw	2,68	70,55	28,11	MH	0,40
10. T	Bt	2,72	65,05	30,3	MH	0,63
11. P	Bt	2,68	82,09	44,8	MH	0,72
12. P	Bt	2,67	65,61	30,13	MH	0,64
13. P	Bt	2,64	103,89	56,43	MH	0,90
14. C	Bi	2,82	62,81	21,97	MH	0,44
15. L	Bw	2,59	87,23	42,43	MH	0,75
16. C	Bi	2,71	79,52	35,84	MH	0,56
17. P	Bt	2,65	91,19	24,12	MH	0,43
18. ES	Bh	2,71	-	-	SP	-
19. T	Bt	2,69	38,17	12,64	CL	0,53
20. P	Bt	2,43	80	34,33	MH	0,58
21. P	Bt	2,55	123,63	66,65	CH	1,16
22. L	Bw	2,72	119,92	72,66	CH	1,15
23. C	Bi	2,75	84,64	42,13	CH	0,77
24. P	Bw	2,74	80,59	41,88	CH	0,78
25. L	Bt	2,5	37,1	14,7	CL	0,53
26. P	Bt	2,68	65,74	23,58	MH	0,45
27. T	Bt	2,37	51,91	15,1	MH	0,34
28. P	Bt	2,68	95,99	34,89	MH	0,51
29. C	Bi	2,74	44,38	14,83	CL	0,27
30. L	Bt	2,66	28,15	10,01	CL	0,50
31. G	C	2,45	42,12	17,31	CL	0,51
32. RQ	C	2,51	-	-	SP	-
33. P	Bt	2,44	89,21	43,77	MH	0,73
34. P	Bt	2,7	27,65	10,47	CL	0,34

* T – Luvissole; ** P – Argissolo; *** L – Latossolo; **** C – Cambissolo; ***** ES – Espodossolo Ferrihumilúvico; ***** G – Gleissolo e ***** RG – Neossolo Quartzarênico.

Os solos identificados pela classificação unificada foram divididos em 4 grupos, sendo eles: CL (argila de baixa compressibilidade), CH (argila de alta compressibilidade), MH (silte de alta compressibilidade) e SP (areia mal graduada).

Os Luvisolos (T) enquadram-se como CL (1, 4 e 19) e MH (10 e 27). Os Argissolos (P) e Cambissolos (C) enquadraram-se em três classificações CL (29 e 34), CH (21, 23 e 24) e MH (2, 3, 5, 7, 8, 11, 12, 13, 14, 16, 17, 20, 26, 29 e 33). Os Latossolos (L) foram classificados como MH (6, 9, 15 e 22), CL (25 e 30) e CH (22). O Gleissolo (G) foi classificado como CL (31). Enquanto o Espodossolo Ferrihumilúvico (ES) e o Neossolo Quartzarênico (RQ) tiveram a mesma classificação, SP (18 e 32).

Os solos avaliados neste trabalho apresentam limite de liquidez (LL), índice de plasticidade (IP) e atividade da argila variando, respectivamente, na faixa de 27,65% (solo CL) a 123,63% (solo CL), 10,01% (solo CL) a 72,66% (solo CL) e 0,27 (solo CL) a 1,16 (solo CH). Todos os solos apresentam 100% de material passando na peneira de abertura de 2mm, sendo que o peso específico dos grãos varia entre 2,37 g/m³ (solo SP) a 2,82 g/m³ (solo MH).

A partir da classificação da atividade da argila, proposta por Skempton (1953), os solos 1, 2, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 14, 16, 17, 19, 20, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 33 e 34 apresentam argila inativa. Já os solos 3, 8, 13, 15, 21, 22, 23 e 24 classificados como de argilas normais. Nenhum dos solos analisados apresentou argila ativa. Para o Espodossolo Ferrihumilúvico (18) e para o Neossolo Quartzarênico (32) não foram calculados a atividade da argila por serem solos tipicamente arenosos.

Nota-se que os solos foram classificados em sua maioria com comportamento de alta compressibilidade, não condizendo com a atividade da argila determinada pela classificação de Skempton (1953), segundo a qual se esperava que ocorressem solos enquadrados como de argila ativa. De acordo com Fabbri (1994) isso decorre porque a determinação da atividade da argila proposta por Skempton (1953) se baseia nos resultados de limite de Atterberg, cujo material ensaiado é a fração que passa na peneira nº 40 (0,42 mm), que possui freqüentemente material inerte, fazendo com que os resultados muitas vezes não reflitam a atividade do material fino presente no solo. Outra característica que também contribui para erros é que a constituição mineralógica dos argilominerais presentes no solo é variada. Deste modo, valores de índice de plasticidade podem ser elevados mesmo que o teor da fração argila no solo seja baixo.

Fitzjohn e Worrall em 1980 já relatavam sobre a relação plasticidade versus teor de argila, a qual sugere que a plasticidade aumenta com o aumento do teor de argila ativa. No entanto, os autores chamam atenção para outros fatores, como a área específica, a natureza e a quantidade de cátions trocáveis que também apresentam grande influência na plasticidade. Portanto, uma determinada argila pode ter um baixo teor de argila ativa mesmo possuindo um elevado índice de plasticidade.

Os resultados obtidos demonstraram que a correspondência entre as classes pedológicas e os grupos geotécnicos, a partir da relação granulometria e plasticidade dos solos, para os solos estudados, não se refletiu nas classes pedológicas. Logo, várias classes pedológicas podem pertencer a um único grupo geotécnico e, por outro lado, uma única classe pedológica, desde que apresente variações granulométricas e de plasticidade, pode constituir mais de um grupo geotécnico.

Segundo Nogami e Villibor (1995), a diferença existente entre a natureza da fração de argila e de areia de solos de regiões tropicais e temperadas é uma das limitações à utilização do SUCS, apresentando resultados insatisfatórios e com freqüência as recomendações neles baseadas não coincidem com o comportamento dos solos tropicais.

Pastore et al. (1990) realizaram uma tentativa de correlação entre as duas classificações para alguns solos de São Paulo e chegaram às mesmas conclusões desta pesquisa, qual seja, a de que solos com características diferentes do ponto de vista pedológico são enquadrados em um mesmo universo pela classificação unificada. Oliveira et al. (1996) estudando os solos expansivos da região do Recôncavo Baiano também concluíram que a classificação unificada e a estimativa do índice de argila proposto por Skempton (1953) não apresentaram eficiência no que se refere à identificação do caráter expansivo.

Devido à natureza extremamente variável do solo, é inevitável que em qualquer classificação ocorram casos em que é difícil se enquadrar o solo em uma única categoria, ou seja, sempre vão

existir situações em que determinado solo poderá ser classificado como pertencente a dois ou mais grupos. Do mesmo modo, o mesmo solo pode ser inserido em grupos que pareçam radicalmente diferentes, em diversos sistemas de classificação (SILVA et al., 2010).

5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos demonstraram que solos com características diferentes foram enquadrados em um mesmo universo pela classificação unificada, podendo-se, no entanto, afirmar que neste caso os diferentes solos, do ponto de vista de classificação pedológica, têm o mesmo comportamento mecânico.

Desta forma, os resultados alcançados corroboram com a crítica de estimar o comportamento mecânico de solos tropicais através da aplicação de uma classificação desenvolvida em países de clima temperado nem sempre traz resultados satisfatórios.

Contudo, a adoção de metodologia mais sofisticada de classificação geotécnica em escala de detalhe em uma bacia hidrográfica torna-se bastante onerosa, em função da escala e da quantidade de ensaios a serem realizados para representação.

Diante do exposto, fica evidente que estudos que busquem interagir entre as características do solo do ponto de vista pedológico - como processos pedogenéticos dominantes, estrutura e composição mineralógica - os quais, na maioria das vezes, já estão usualmente disponíveis; com o conhecimento mecânico do solo estudado pela geotecnia, trarão um conhecimento que melhor possa entender o comportamento do solo frente às solicitações expostas.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Solo - Determinação do limite de liquidez**, NBR 6459/84. Rio de Janeiro, 6p, 1984a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm - Determinação da massa específica**, NBR 6508/84. Rio de Janeiro, 8p, 1984b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Solo - Determinação do limite de plasticidade**, NBR 7180/84. Rio de Janeiro, 3p, 1984c.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7181/84, Solo - **Análise Granulométrica - Procedimento**, Rio de Janeiro, 13p, 1984d.

CURI, N. et al. **Vocabulário de ciência do solo**. Campinas, SBCS, 1993. 89p.

DAS, B. M. **Fundamentos de engenharia geotécnica**. São Paulo: Thomson Learning, 2007.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Procedimentos normativos de levantamentos pedológicos**. Brasília: Embrapa, 1995. 116 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2º ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

FABBRI, G. T. P. **Caracterização da fração fina dos solos tropicais através do ensaio de azul de metileno**. 1994. 645p. Tese (Doutorado em Geotecnia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 1994.

FRANCO, G. B. **Fragilidade ambiental e qualidade da água na Bacia do Rio Almada - Bahia**. 2010. 345p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2010.

HALL, G. F.; OLSON, C. G. Predicting Variability of Soils from Landscape Models. In: SEGOE, S. **Spatial variabilities of soils and landforms**. Madison: Soil Science Society of America, 1991. 40p.

MACHADO, C. C.; PIRES, J. M. M.; PEREIRA, R. S. Comportamento físico e ambiental de resíduos sólidos em pavimentos de estradas florestais. **Revista Árvore**, v. 31, n. 4, p. 679-684, 2007.

- NOGAMI, J. S.; VILLIBOR, D. F. **Pavimentação de baixo custo com solos lateríticos**. São Paulo: Villibor, 1995. 240p.
- PINTO, C. S. **Curso básico de mecânica dos solos**. São Paulo: Editora Oficina de Textos, 2006. 247p.
- RESENDE, M. 500 anos de uso do solo no Brasil. IN: ARAUJO, Q.R. de. (Org.). **500 anos de uso do solo no Brasil**. Ilhéus: Editus, 2002. p. 1-49.
- SANTOS, M. de L. M. et al. **Correlação pedológico-geotécnica do município do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: Embrapa, 2009. 46p.
- SANTOS, R. D.; LEMOS, R. C.; SANTOS, H. G.; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. 100 p.
- SILVA, T. O da et al. Sistemas de classificações geotécnicas de solos: estudo de caso aplicado à rodovia não pavimentada VCS 346, Viçosa, MG. **Revista Árvore**, v. 34, n. 2, p. 313-321, 2010.
- SKEMPTON, A. W. The colloidal activity of clays. **3rd International Conference of Soil Mechanics and Foundation Engineering**, Zurich. SMFE, 1953. v. 1, pp. 57-61.
- TRANGMAR, B. B.; YOST, R. S.; UEHARA, G. Spatial Dependence and Interpolation of Soil Properties in West Sumatra, Indonesia: II. Co-regionalization and co-kriging. **Soil Science Society of America**, v. 50, p. 1396–1400, 1986.
- OLIVEIRA, J. B. **Pedologia aplicada**. Jaboticabal: Funep, 2001. 414p.
- VALERIANO, M. M.; PRADO, H. Técnicas de geoprocessamento e de amostragem para o mapeamento de atributos anisotrópicos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, 2001. v.25, p.997-1005.
- VARGAS, M. **Identification and classification of tropical soils**. US/Brazil Geotechnical Workshop: Applicability of Classical Soil Mechanics Principles to Structured Soils. Belo Horizonte, 1994. p. 200-205.
- VARGAS, M. **Introdução à mecânica dos solos**. São Paulo: McGraw-Hill, 1977. 509p.