

POTENCIALIDADES DE APLICAÇÃO DA CLASSIFICAÇÃO MCT EM PEQUENAS BARRAGENS DE TERRA

Potentialities in the application of the MCT classification system in small earth dams

E.L. PASTORE*

RESUMO - Neste artigo, são feitas considerações sobre as potencialidades de aplicação da classificação MCT em pequenas barragens de terra. Realça-se o facto de que a estimativa dos parâmetros geotécnicos através desta classificação ser bastante interessante para solos tropicais.

SYNOPSIS - In this paper general considerations about the application of the MCT classification to small earth dams are made. It is emphasised the fact that the evaluation of geotechnical parameters using this classification is very attractive for tropical soils.

1 - INTRODUÇÃO

A classificação MCT (Nogami e Villibor, 1981) vem sendo cada vez mais utilizada no Brasil, principalmente em obras viárias para a qual foi originalmente desenvolvida, por ser mais adequada na estimativa das propriedades dos solos tropicais do que as classificações desenvolvidas para solos de clima temperado. Sua aplicação, no entanto, em obras de terra, como pequenas barragens, é bastante promissora já que através desta classificação é possível se estimar várias propriedades dos solos tropicais com interesse para este tipo de projecto. Neste artigo são feitas considerações sobre a potencialidade de aplicação da classificação MCT em pequenas barragens de terra, no sentido de orientar pesquisas futuras para ampliar a aplicação desta classificação neste tipo de obra.

Cabe aqui ser ressaltado que para o projecto de barragens de médio e grande portes as propriedades dos solos são determinadas através de ensaios especiais de laboratório, cujos custos são bem mais elevados do que os das classificações de solos, mas justificáveis em função do porte e do custo mais elevado destas obras. Já no caso de pequenas barragens de terra, comuns no meio rural, raramente existe projecto sendo a construção feita na maioria das vezes por práticos e até mesmo por operadores de máquinas, o que frequentemente leva a vários tipos de problemas. A estimativa de propriedades de solos tropicais através da classificação MCT pode ser uma ferramenta promissora para a melhoria dos projectos e construção destas pequenas obras, trazendo com isto menor risco de insucesso, a um custo bastante reduzido.

2 - A CLASSIFICAÇÃO MCT

A classificação MCT proposta por Nogami e Villibor (1980,1981), permite estimar vários parâmetros dos solos tropicais através de ensaios que podem ser realizados no laboratório de

* Professor da Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Civil

forma completa e de forma expedita. Na forma completa são realizados os ensaios de compactação Mini-MCV e perda de massa por imersão obtendo-se dos gráficos resultantes dos ensaios os parâmetros e' e c' com os quais se localiza o grupo do solo ensaiado em uma carta classificatória. Na forma expedita utilizam-se anéis de PVC e um mini-penetrômetro do tamanho de uma lapiseira para determinar os parâmetros c' e a penetração (mm) para se classificar o solo ensaiado. O procedimento dos ensaios necessários para a classificação dos solos pelo método completo e pelo método expedito são descritos em Nogami e Villibor (1995).

A classificação MCT subdivide os solos tropicais de acordo com o seu comportamento mecânico e hidráulico em duas classes com sete grupos, dos quais quatro grupos são de solos com comportamento geotécnico não laterítico e três de grupos de solos com comportamento geotécnico laterítico. As siglas e significado destes grupos são as seguintes:

Grupos de solos da classe N (comportamento Não laterítico)

NA = Não laterítico areia. Areias, siltes e misturas de areias e siltes, quartzosos e/ou sericíticos

NA' = Não laterítico arenoso. Areias quartzosas com finos passando na peneira 0.075 mm.

NS' = Não laterítico siltoso. Siltes arenosos

NG' = Não laterítico argiloso. Solos argilosos

Grupos de solos da classe L (comportamento Laterítico)

LA = Laterítico areia. Areias com pouco finos

LA' = Laterítico arenoso. Solos arenosos

LG' = Laterítico argiloso. Argilas e argilas arenosas

A correlação entre os grupos da classificação MCT e grupos de classificações pedológicas tem sido estudada por Nogami e Villibor (1995) e demais pesquisadores, entre os quais Pastore et al. (1990).

As propriedades esperadas dos grupos de solos da classificação MCT são basicamente o Mini-CBR com e sem imersão, a expansão, a contração, o coeficiente de permeabilidade, o coeficiente de sorção e a resiliência dos solos compactados, ou seja, basicamente propriedades de interesse directo nos projectos de pavimentação.

Ainda na caracterização destes grupos, Nogami e Villibor (1995) comentam sobre outras propriedades dos solos no estado natural, entre as quais a resistência à erosão e a colapsividade, sem, no entanto, quantificá-las.

3 - PROPRIEDADES ESPERADAS DOS SOLOS (CORRELAÇÕES): PERMEABILIDADE, COMPRESSIBILIDADE E RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO

Com base em dados disponíveis na bibliografia e resultados de ensaios de laboratório, são feitas a seguir algumas correlações na tentativa de determinar para cada grupo da classificação MCT faixas de valores de outros parâmetros geotécnicos principalmente de resistência ao cisalhamento e adensamento, de maior importância em barragens de terra. As faixas de valores de permeabilidade para solos compactados encontram-se definidas na própria classificação MCT. Deve-se frisar aqui que estas correlações são tentativas e devem ser verificadas em pesquisas futuras com o maior número possível de ensaios de laboratório

para que possam efectivamente ter validade. Além disto, nem de todos os grupos MCT se conseguiu todos os dados, estando, portanto, os mesmos incompletos em alguns casos.

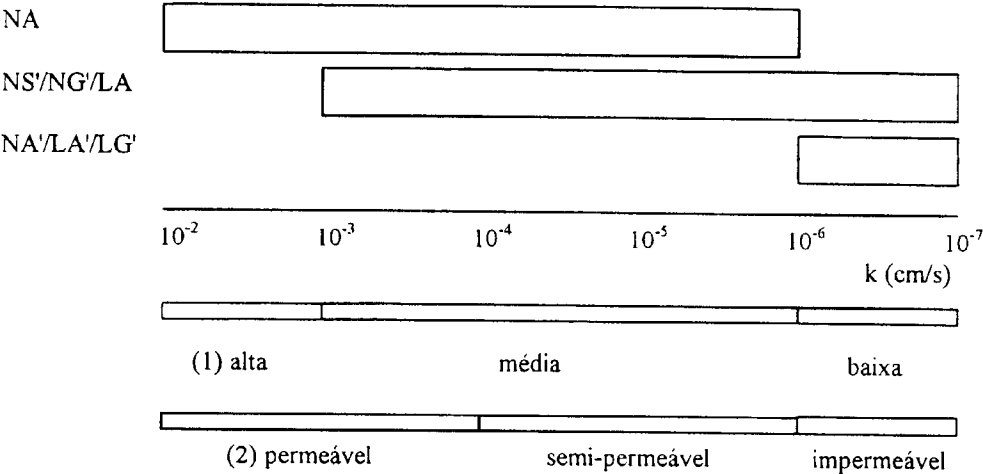
3.1 - Solos compactados (maciço de terra)

As propriedades esperadas de acordo com os grupos da classificação MCT para solos compactados são apresentadas nos Quadros 1 e 2, relativamente a faixas de valores do coeficiente de permeabilidade e faixas de valores de coesão e ângulo de atrito efectivos.

Quadro 1
Correlação entre grupos MCT e coeficiente de permeabilidade.

Grupo MCT	K cm/s (Nogami e Villibor, 1995)
NA	10^{-6} ----- $> 10^{-3}$
NA'	$< 10^{-6}$
NS'	10^{-3} ----- $< 10^{-6}$
NG'	$< 10^{-6}$ ----- 10^{-3}
LA	10^{-3} ----- $< 10^{-6}$
LA'	$< 10^{-6}$
LG'	$< 10^{-6}$

Lançando-se os valores do coeficiente de permeabilidade do Quadro 1 no gráfico abaixo, verifica-se com maior facilidade que o grupo NA apresenta uma faixa de variação bastante ampla, isto é, permeabilidade de alta a média, de acordo com a faixa de variação (1) de Nogami e Villibor (1995), enquanto que os grupos NS', NG' e LA podem apresentar permeabilidade média a baixa e os grupos NA', LA' e LG' permeabilidade baixa. Já de acordo com as faixas de variação de permeabilidade (2) do US Bureau of Reclamation (1987), o grupo NA pode ser permeável a semi-permeável, os grupos NS'/NG'/LA' praticamente semi-permeáveis a impermeáveis e os grupos NA'/LA'/LG' impermeáveis.

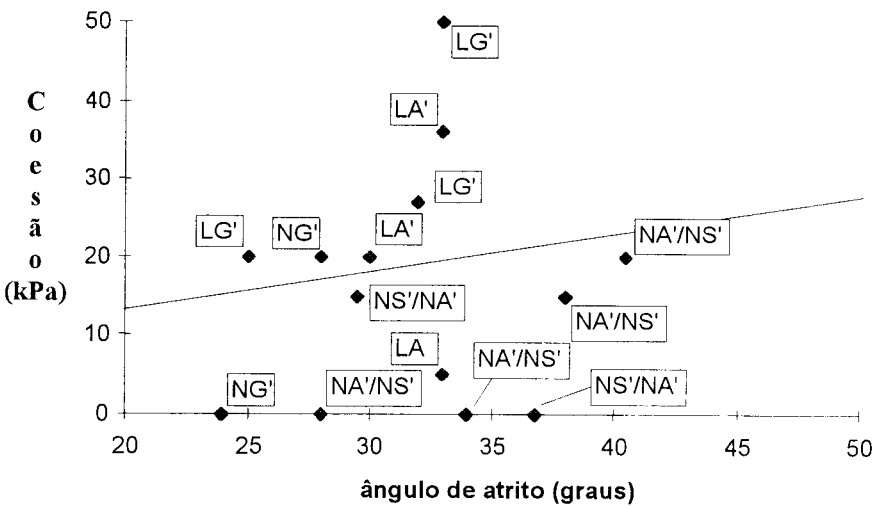


Quadro 2
Correlação entre grupos MCT e parâmetros efectivos de resistência ao cisalhamento (1).

Rocha de origem	Grupo MCT	Coesão (KPa) ϕ'		Coesão (KPa) ϕ'	
		não saturado		saturado	
Basalto	LG'	40 a 70	24 a 33	20 a 50	25 a 33
Arenito	LA	10 a 50	26 a 31	5	33
Gnaise	LG'	20 a 50	26 a 29	27	32
Quartzo-xisto	LA'	15	33	-	-
Colúvio (arenito+basalto)	LA'	30 a 60	27 a 33	20 a 36	30 a 33
Basalto	NG'	-	-	0 a 20	24 a 28
Gnaise	NA'/NS'	-	-	0 a 15	28 a 38
Xisto e granito	NS'/NA'	-	-	15	29.5
Granito	NA'/NS'	-	-	0 a 20	34 a 40.5
Biotita gnaise	NS'/NA	'-	-	0	36.8

(1) parâmetros obtidos por Cruz e Maiolino, 1983 (apud Pastore, 1992).

Apesar dos poucos dados disponíveis, lançando-se os valores de solos saturados do Quadro 2 no gráfico abaixo verifica-se que os solos de comportamento laterítico (Classe L), apresentam maior resistência ao cisalhamento do que os solos de comportamento não laterítico (Classe N). A individualização dos grupos da classificação só seria possível com maior número de dados.



3.2 - Solos naturais (maciço de fundação)

As propriedades esperadas de acordo com os grupos da classificação MCT para solos no estado natural são apresentadas nos Quadros 3, 4, 5 e 6, relativamente a faixas de valores do coeficiente de permeabilidade, faixas de valores de coesão e ângulo de atrito efectivos, parâmetros de adensamento e colapsividade.

Quadro 3
Correlação entre grupos MCT e coeficiente de permeabilidade (1)

Rocha de origem	Grupo MCT	k (cm/s)	Tipo de ensaio	Referência
Basalto	LG' e NS'	1×10^{-5} a $2,9 \times 10^{-4}$	Leituras de piezómetros e infiltração em sondagens.	Silveira et al. (1978 a 1981)
Basalto	LG' e NS'	1×10^{-4} a 1×10^{-7}	Infiltração em poços de sondagens	Neske (1970)
Gnaisse	NS'	5×10^{-4}	Infiltração e bombeamento em sondagens	Oliveira et al. (1976)
Gnaisse	NS'	1×10^{-4}	Infiltração em poços de bombeamento	Oliveira et al. (1976)
Gnaisse	NS'	1×10^{-4}	Permeâmetro com Carga variável	Mori et al. e Oliveira et al. (1982)
Migmatito	NA'/NS'	3×10^{-3} a 1×10^{-5}	Infiltração em sondagens	Ruiz et al. (1976) e Massad et al. (1978)

(1) Valores de K de campo para vários tipos de solos (Costa e Vargas, 1985, apud Pastore, 1992).

A plotagem dos dados do Quadro 4 em gráfico $c' \times \phi'$ apresenta grande dispersão provavelmente em função da grande heterogeneidade composicional e compacidade ou consistência dos solos.

Além disto, uma dificuldade adicional na determinação de parâmetros geotécnicos de solos saprolíticos no estado natural é a grande anisotropia apresentada por estes solos devido a presença de estruturas geológicas herdadas da rocha e do maciço rochoso. Em especial os solos contendo feições planares do tipo foliação e acamamento são os que apresentam maior anisotropia. Nestes casos é fundamental, portanto, mencionar qual a posição dos planos geológicos em relação ao sentido do ensaio realizado, em geral se paralelo ou perpendicular ao mesmo. A influência de estruturas reliquias nas propriedades de solos saprolíticos tem sido estudada por Pastore (1992) e Pastore et al. (1994).

Quadro 4
Correlação entre grupos MCT e parâmetros de resistência ao cisalhamento (1).

Rocha de Origem	Grupo MCT	Índice vazio inicial	Tipo de ensaio	C' (kPa)	ϕ' (graus)	C' (kPa)	ϕ' (graus)	Referência
Gnaiss	NS'	Fofos	Drenado n.drenado	0 -	27 -	- 25	- 20	Mori e Ricco (1982)
Gnaiss	NS'	Com- pactos	Drenado ----- não drenado	0 65 ----- -	28 28 ----- -	- - ----- 95 70	- - ----- 14 26	Mori e Verski (1982)
Gnaiss	NA'	0,65 0,74	Drenado	4,4 8,6	38,3 39,8	- -	- -	Maciel (1991)
Gnaiss	NS' saturado NS' 50% saturado	1,10 1,20	Não Drenado	48 - 70	21 - 15	- 35 -	- 18 -	Sowers (1963)
Migmatito (2)	NA'	- -	Não drenado drenado	70 40 45	23 25 27	50 40 -	13,5 20 -	GH (1983)
Migmatito (3)	NS' NA' ----- NA' ----- NA'	- - - - -	Não drenado ----- drenado ----- N. drenado ----- CD	20 10 ----- 20 ----- 35 ----- 24	31 29 ----- 29 ----- 20,5 ----- 24	60 60 ----- - ----- 35 ----- -	13 10 ----- - ----- 12,6 ----- -	Cesp (1986)
Xisto	NS'	-	-	-	-	-	24,5	De Fries (1971) apud Deere e Patton (1971)
Granito	NS' NA'	- -	- -	- -	- -	0 (saturado)	25,5-34 36-38	Lumb (1962) apud Deere e Patton (1971)
Basalto	NS'	-	Vários	50	22	-	-	Leme (1985)
Basalto	NS'	-	n. drenado CD	35-55 100	22-30 27	- -	- -	Humes (1989)
-	LA' LA ----- LG' ----- NA	- - - -	Não drenado	0,5 0,5 ----- 0 1,1 0 ----- 1,4	29 29 ----- 35 24 37 ----- 21	- - ----- - - - ----- -	- - ----- - - - ----- -	IPT (1990)

(1) dados de solos saprolíticos compilados por Pastore (1992) e lateríticos de IPT (1990).

(2) ocorre na barragem Sumit Control (3) ocorre na barragem de Caconde. CD = Cisalhamento Directo.

Quadro 5
Correlação entre grupos MCT e parâmetros de adensamento

Rocha de Origem	Grupo MCT	Coefficiente de adensamento Cv (cm2/seg)	Índice de compressão Cc	Referência
Gnaise	NA'/NS'	0,1 - 0,001	0,05-0,25	Azevedo (1972)
Basalto	NG'	-	0,5-0,8	de Mello (1972)
Granito	NA'	0,25- 0,02	0,23	HUI (1972)
-	(1) I. LA'	0,01	0,35	IPT (1990)
	N.I.	0,01	0,33	
	I. LA N.I.	0,01	0,23	
-	I. LA N.I.	0,01	0,28	IPT (1990)
	I. LG'	0,02/0,02/0,06	0,37/0,58/0,48	
	N.I.	0,02/0,02/0,01	0,41/0,68/0,39	
-	I. NA N.I.	0,02	0,20	IPT (1990)
		0,01	-	

(1) I. = Inundado. N.I. = Não Inundado

Quadro 6
Correlação entre grupos MCT e colapsividade.

Grupo MCT	Índice de vazios inicial	Teor de humidade inicial (%)	Variação de altura/altura inicial (%)		
			26,5	106	420
			(kPa)		
LA'	0,847	4,1	0,8	5,4	19,7
LA	0,779	3,0	1,8	6,5	13,0
LG'	0,941	6,4	1,3	10,7	22,2
	1,147	20,0	2,0	7,5	16,5
	1,271	20,3	-1,1	4,8	3,1
NA	0,449	6,2	-1,9	0,0	2,0

4 - UTILIZAÇÃO DA CLASSIFICAÇÃO MCT NO PROJETO E CONSTRUÇÃO DE PEQUENAS BARRAGENS

A potencialidade de utilização da classificação MCT no projecto e construção de pequenas barragens deve ser discutida considerando-se os seguintes casos mais típicos, em analogia com o procedimento adoptado pelo US Bureau of Reclamation (1987):

- barragens com fundação em camada resistente.
- barragens com fundação em camadas não resistentes.

4.1 - Barragens com fundação em camada resistente

Neste caso, é suficiente conhecer as propriedades dos solos compactados, sendo, portanto, possível, uma vez conhecidos os parâmetros geotécnicos dos grupos MCT, definir a inclinação dos taludes de montante e jusante, considerando-se a hipótese de ocorrência ou não de rebaixamento rápido do nível d'água de montante.

4.2 - Barragens com fundação em camadas não resistentes.

A simples aplicação de classificações de solos para estimativa das propriedades geotécnicas das fundações, no caso destas serem constituídas por camadas não resistentes encontra limitações devido a vários factores que devem ser considerados no estudo dos solos em condições naturais, conforme se discute a seguir, através basicamente de duas situações distintas:

- a) caso de fundação constituída por solos finos saturados
- b) caso de fundação constituída por solos finos pouco saturados

No caso de projecto de barragens de terra sobre solos finos saturados, no Brasil representados praticamente pelos solos aluvionares e marinhos, há várias possibilidades de medidas adicionais visando a melhoria da estabilidade dos taludes. Para pequenas barragens o método mais adequado, segundo o US Bureau of Reclamation (1987), é o de bermas de equilíbrio de montante e jusante. Este órgão americano apresenta uma tabela para estimativa da inclinação destas bermas de equilíbrio onde devem ser considerados além do grupo USCS do solo de fundação, a consistência da fundação, determinada através do ensaio SPT e a altura da barragem. Os taludes da barragem de terra são definidos como se a mesma tivesse fundação em camada resistente.

A aplicação da classificação MCT neste caso torna-se praticamente inviável tendo em vista o fato da mesma não contemplar grupos de solos aluvionares e marinhos.

Já no caso dos solos finos pouco saturados, que representam a quase totalidade dos grupos da classificação MCT, existem outras dificuldades no simples emprego de classificações de solos para determinação das propriedades do maciço natural, quando a barragem for projectada sobre este tipo de solo. O procedimento simplificado apresentado pelo US Bureau of Reclamation (1987) nestes casos é o de avaliar se a fundação necessita de tratamento ou não com base no valor da massa específica aparente seca do solo natural $\times LL$ (%). Problemas de colapsividade de depósitos de loess, comuns nos países de clima temperado, são encontrados no Brasil com muita frequência em solos coluvionares lateríticos, formados predominantemente por solos de comportamento laterítico e alguns grupos de solos de comportamento não laterítico.

Em função disto, no caso de fundação constituída por solos finos não saturados, tanto de comportamento laterítico como saprolítico, torna-se de grande importância avaliar o risco de colapso da fundação, devido a estrutura e saturação do solo, eventualmente utilizando-se o mesmo procedimento do US Bureau of Reclamation (1987), já que barragens com altura a partir de 7 metros de altura já podem apresentar este tipo de problema.

5 - CONCLUSÕES

A estimativa de parâmetros geotécnicos de interesse para o planejamento e projecto de pequenas barragens de terra através da classificação MCT, torna-se bastante interessante pelo seu baixo custo e adequabilidade para solos tropicais, considerando-se que dificilmente

ensaios especiais de laboratório podem ser realizados para este tipo de obra face ao seu elevado custo.

O desenvolvimento de pesquisas sistemáticas através de ensaios em laboratório, visando determinar parâmetros geotécnicos de adensamento, resistência ao cisalhamento e permeabilidade para solos compactados, previamente classificados pela metodologia MCT, podem levar a uma melhor caracterização destes grupos de solos quanto a estas propriedades, à semelhança do que foi feito pelo US Bureau of Reclamation (1987), relativamente à classificação USCS. Este órgão americano realizou cerca de 1 500 ensaios de laboratório com solos compactados, dos quais 94 de resistência ao cisalhamento, para determinar os parâmetros geotécnicos dos vários grupos de solos da classificação USCS.

No caso dos solos no estado natural, a utilização da classificação MCT para previsão das propriedades geotécnicas da fundação não faz muito sentido já que estas propriedades, como amplamente conhecido, são extremamente influenciadas pelo estado, estruturas pedológicas e reliquias e teor de humidade dos solos.

BIBLIOGRAFIA

- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DE SÃO PAULO - *Ensaio de laboratório de amostras de solos lateríticos da região de Paraguassú Paulista*. Estado de São Paulo (relatório preliminar), 1990.
- NOGAMI, J.S. e VILLIBOR, D.F. - *Pavimentação de baixo custo com solos lateríticos*. Editora Vilibor. São Paulo, 1995.
- NOGAMI, J.S. e VILLIBOR, D.F. - *Uma nova classificação de solos para finalidades rodoviárias*. Anais Simpósio Brasileiro de solos tropicais em engenharia, Vol.1. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 1981.
- NOGAMI, J.S. & VILLIBOR, D.F. - *Caracterização e classificação geral dos solos para pavimentação: limitações dos métodos tradicionais, apresentação de uma nova sistemática*. 15 Reunião Anual de pavimentação, Belo Horizonte, MG, 1980.
- PASTORE, E.L. ; CRUZ, P.T. e CAMPOS, J.O. - *Géologie de l'Ingénieur des massifs de soils saprolitiques au climat tropical*. Proc. of the 7 Int. Congress. IAEG, Lisboa. Vol.1, 1994.
- PASTORE, E.L. - *Maçãos de solos saprolíticos como fundações de barragens de concreto gravidade*. Tese de doutoramento. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1992.
- PASTORE, E.L.; IGNATIUS, S.G.; SALOMÃO, F.X.; CAMPOS, J.O. e BONGIOVANI, S. - *Correlação entre as classificações pedológicas e geotécnicas de alguns solos do interior do Estado de São Paulo*. Anais 6º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia. Vol.2. Salvador. Bahia, 1990.
- US BUREAU OF RECLAMATION - *Design of small dams*. United States Department of the Interior. A Water Resources Technical Publication. Denver. Colorado, 1987.