

ESTUDO DE SOLOS TROPICAIS PARA USO EM PAVIMENTAÇÃO POR MEIO DE ENSAIOS TRIAXIAIS CONVENCIONAIS

Idalíria de Moraes Dias

Alexandre Benetti Parreira

Escola de Engenharia de São Carlos

Universidade de São Paulo

RESUMO

No Brasil, as peculiaridades dos solos tropicais para uso em pavimentação vêm sendo muito estudadas, visto que há uma presença significativa destes solos no país e os métodos tradicionais não qualificam adequadamente seu comportamento. Outrossim, várias pesquisas têm sido desenvolvidas para procurar relações que permitam estimar o módulo de resiliência através de resultados de ensaios mais simples que o triaxial cíclico. A dissertação em andamento apresentada tem como principal objetivo analisar o comportamento mecânico de solos tropicais, para uso em pavimentação, por meio de ensaios triaxiais convencionais e secundariamente estudar a relação entre estes resultados e os resultados de ensaios triaxiais cíclicos. Neste relatório são apresentados, além da proposta de trabalho alguns resultados que evidenciam a diferença de comportamento entre os solos lateríticos e não-lateríticos estudados.

ABSTRACT

In Brazil, the peculiarities of the tropical soils for use in pavement have been studied a lot. This happens because there is a significant presence of these soils in the country and the traditional methods don't qualify their behavior appropriately. Likewise, several researches have been developed for searching relations that estimate the resilient moduli through results of other tests which are simpler than cyclic triaxial ones. The dissertation in process has as goals analyzing the mechanical behavior of tropical soils, for use in pavement, through conventional triaxial tests and seeking relations between these results and the results of cyclic triaxial tests. Besides the purpose of research, this paper shows some results which put in evidence the difference of behavior between the lateritic and no-lateritic soils studied.

1. INTRODUÇÃO

Desde que a Mecânica dos Solos começou a ser usada no Brasil, para solução de problemas ligados à construção rodoviária, foram detectadas várias discrepâncias entre as previsões e o real comportamento dos solos utilizados (Nogami e Villibor, 1995). Estas discrepâncias se devem a diferença entre os solos das regiões tropicais, presentes no país, e os solos das regiões temperadas, para as quais as classificações tradicionais (HRB – *Highway Research Board* – e USCS – *United States Corps of Engineers*) foram criadas. Sendo assim, tornou-se necessário conhecer as peculiaridades destes solos.

Na literatura, podem ser encontrados vários trabalhos que apresentam sugestões de novas técnicas de ensaios para classificação e caracterização de solos tropicais. Dentre os quais pode-se destacar a classificação MCT (Miniatura Compactada Tropical), proposta por Nogami e Villibor (1981) pela qual os solos são separados em duas classes, uma de comportamento laterítico e outra de comportamento não-laterítico, e sete grupos. Considerando os solos tropicais divididos nestas duas classes, observa-se que os solos da primeira classe comportam-se melhor do que o previsto pelos métodos tradicionais, enquanto os solos da segunda classe, freqüentemente apresentam comportamento pior (Villibor *et. al.*, 1996).

Na análise mecanística de pavimentos, o módulo de resiliência tem sido bastante utilizado para determinação de tensões, deformações e deflexões. Porém, os ensaios para a determinação deste módulo são complexos e de alto custo, levando pesquisadores a procurar relações que permitam estimá-lo através de resultados de outros ensaios mais simples.

Os ensaios para determinação de Índice de Suporte Califórnia (ISC ou CBR) foram os primeiros a serem usados neste sentido, sendo estabelecidas algumas relações entre o CBR e o módulo de resiliência. Posteriormente, verificou-se que os mecanismos envolvidos nestes ensaios são distintos e não seria apropriado relacionar seus resultados: no CBR mede-se a resistência ao cisalhamento, que envolve principalmente deformações plásticas, enquanto o módulo de resiliência relaciona-se apenas às deformações elásticas.

Atualmente, relações entre o módulo de resiliência e resultados de outros ensaios como compressão simples e triaxial convencional têm sido estudadas. A utilização do ensaio de compressão simples tem a vantagem do mesmo ser de fácil execução. Por meio deste ensaio o módulo de resiliência vem sendo relacionado com a resistência à compressão simples (Thompson e Robnett, 1979), com $S_{u1,0\%}$ - tensão correspondente a 1% de deformação axial (Lee *et al.*, 1995), e com o módulo tangente inicial (Parreira *et al.*, 1998). O ensaio triaxial convencional, apesar de ser mais complexo que o de compressão simples, também tem atraído o interesse de pesquisadores por representar melhor as condições de campo, uma vez que permite o confinamento da amostra. Vem-se estudando relações entre o módulo de resiliência e variáveis obtidas a partir deste ensaio, como a coesão e o ângulo de atrito interno do solo (Zaman *et al.*, 1994) e o módulo descarregamento/recarregamento (Kim *et al.*, 2001).

2. OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho é analisar o comportamento mecânico de solos tropicais, para uso em pavimentação, por meio de ensaios triaxiais convencionais. Pretende-se, também, estudar a relação entre o módulo de resiliência, determinado através de ensaios triaxiais cíclicos, e os resultados de ensaios triaxiais convencionais.

É importante destacar que não se pretende prescrever ensaios triaxiais convencionais em substituição aos ensaios triaxiais cíclicos, uma vez que ambos os ensaios apresentam complexidade equivalente. Todavia, como o presente estudo integra uma pesquisa mais ampla, na qual já foram realizados ensaios cíclicos, a análise de relações entre os resultados destes dois ensaios permitirá um melhor entendimento do comportamento de solos tropicais na pavimentação rodoviária.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para alcançar os objetivos desta pesquisa dividiu-se o trabalho em três etapas:

3.1 Primeira Etapa: Escolha dos solos

Os solos que estão sendo estudados nesta pesquisa foram selecionados entre amostras coletadas em rodovias do interior do estado de São Paulo e estudados por Takeda (2005). No trabalho deste autor podem ser encontrados além dos resultados de caracterização desses solos, resultados de microscopia eletrônica de varredura, raios-X, compactação, compressão simples e módulo de resiliência.

O critério para a escolha dos materiais consistiu em selecionar-se 3 pares de solos, sendo cada par constituído por solos de semelhantes curvas granulométricas, mesma classificação HRB (M-145/66 AASHTO) e comportamentos distintos quanto a laterização, ou seja, um teria comportamento laterítico e o outro não-laterítico. A Tabela 1 apresenta os solos escolhidos e os respectivos resultados de classificação, compactação e porcentagem de material que passa na peneira n° 200.

Tabela 1: Resultados de classificação e compactação dos solos em estudo

Amostra		P1N	P1L	P2L	P2N	P3L	P3N
% que passa na peneira n° 200	%	49	40	69	69	78	80
Classificação	MCT	NG'	LG'	LG'	NG'	LG'	NG'
	HRB	A-6	A-6	A-7-5	A-7-5	A-7-5	A-7-5
Energia Normal	w _o (%)	17,00	12,60	20,87	29,10	21,82	21,89
	ρ _{dmax} (g/cm ³)	1,739	1,888	1,626	1,417	1,642	1,443

3.2 Segunda Etapa: Ensaaios Triaxiais Convencionais

Os ensaios triaxiais são do tipo CD (adensado-drenado) e realizados de acordo com a metodologia descrita em Bishop e Henkel (1957). A saturação dos corpos-de-prova é dada por contra-pressão com medição do parâmetro B de Skempton.

As pressões de confinamento adotadas nos ensaios foram escolhidas de maneira a representar tensões de campo obtidas através de simulações usando o ELSYM5. Para cada solo, serão realizados ensaios triaxiais com tensões de confinamento de 25, 50 e 75kPa. Estas tensões de confinamento são da mesma ordem daquelas utilizadas no ensaio triaxial cíclico.

Os corpos-de-prova utilizados têm forma cilíndrica, medindo cinquenta milímetros de diâmetro e cem milímetros de altura. A moldagem será realizada estaticamente, nas condições de umidade ótima e massa específica seca máxima determinadas sob energia normal.

3.3 Terceira Etapa: Análise dos Resultados

A partir dos resultados destes ensaios serão determinados a tensão de ruptura e os parâmetros de resistência da envoltória de ruptura de Mohr-Coulomb, coesão (c) e ângulo de atrito interno (φ).

A deformabilidade será estimada através do módulo tangente inicial, tomando como base o método analítico apresentado por Duncan e Chang (1970), com a determinação dos parâmetros K_i e n através da equação proposta por Janbu (1963):

$$E_i = K_i \cdot P_a \cdot \left(\frac{\sigma_c}{P_a} \right)^n \quad (1)$$

Onde E_i: Módulo tangente inicial;

σ_c: tensão confinante;

P_a: Pressão atmosférica expressa na unidade que E_i e σ₃;

K_i e n: constantes

A partir da determinação dos parâmetros K_i e n de cada amostra, será investigada a existência de modelos matemáticos que permitam relacioná-los com os respectivos módulos de resiliência, determinados por Takeda (2005).

4. RESULTADOS PRELIMINARES

Já foram realizados os ensaios triaxiais convencionais de um par de amostras. A Tabela 2 apresenta as tensões de ruptura e os parâmetros de resistência da envoltória de ruptura de Mohr-Coulomb para cada solo. Analisando os valores da Tabela 2, observa-se que os ângulos de atrito interno dos solos são iguais e a coesão do solo laterítico é 10 vezes maior que a do

solo não laterítico. Este comportamento é condizente com o esperado para solos lateríticos tendo em vista que a laterização provoca cimentação de partículas promovendo o aumento da coesão.

Os resultados apresentados demonstram a qualidade dos solos lateríticos, quanto ao comportamento tensão-deformação, e, também, uma tendência de comportamento que poderá ser confirmada com os ensaios restantes.

Tabela 2: Parâmetros de resistência de Mohr-Coulomb e tensões aplicadas para cada solo.

	σ_c (kPa)	σ_{rup} (kPa)	c (kPa)	ϕ (°)
Laterítico	25	187	32	31
	50	271		
	75	341		
Não-laterítico	25	89	3	31
	50	156		
	75	241		

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa fornecida como auxílio a essa pesquisa.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- Bishop, A. W. e Henkel, D. J. (1957) *The Measurement of Soil Properties in the Triaxial Test*. Ed. Edward Arnold LTD, London.
- Duncan, J.M. e Chang, C.-Y. (1970) Nonlinear analysis of stress and strain in soils. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, v.96, n.5, p. 1629-1653.
- Janbu, N (1963) Soil Compressibility as Determined by Oedometer and Triaxial Tests. *Anais da European Conference on Soil Mechanics and Foundations Engineering*, Germany, v.1, p. 19-25.
- Kim, D.-S., Kweon, G.-C. e Lee, K.-H. (2001) Alternative Method of Determining Resilient Modulus of Subgrade Soils Using a Static Triaxial Test. *Canadian Geotechnical Journal*, v.38, n.1, p. 107-116.
- Lee, W., Bohra, N. C., Altschaeffl e White, T. D. (1995) Resilient modulus of cohesive soils and the effect of freeze-thaw: *Journal of Geotechnical Engineering*, v.123, n.2, p. 131-136.
- Nogami, J.S. e Villibor, D. F. (1981) Uma Nova Classificação de Solos para Finalidades Rodoviárias. *Anais do Simpósio Brasileiro de Solos Tropicais em Engenharia*, COPPE/UFRJ – CNPq - ABMS, Rio de Janeiro, p. 30-41.
- Nogami, J.S. e Villibor, D. F. (1995) *Pavimentação de Baixo Custo com Solos Lateríticos*. Ed. Villibor, São Paulo.
- Thompson, M.R. e Robnett, Q. L. (1979) Resilient properties of subgrade soils: *Transportation Engineering Journal*, v.125, p. 71-89.
- Parreira, A. B., Cunto, J. F. C., Carmo, C. T. e Rodrigues, J. K. G. (1998) O Módulo de Resiliência de Alguns Materiais de Pavimentação e a sua Estimativa a Partir de Ensaio de Compressão Simples. *Anais do XI Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica*, ABMS, Brasília, v.1, p. 149-156.
- Villibor, D. F., Nogami, J.S., Serra, P. R. M. e Zuppolini Neto, A. (1996) Procedimentos Não-Tradicionais na Pavimentação com Solos e Ambientes Tropicais. *Anais da 30ª Reunião Anual de Pavimentação*, ABPv, Salvador, v.3, p. 1603-1633.
- Takeda, M. C. (2005) Tese de Doutorado em Andamento. São Carlos-SP. Escola de Engenharia de São Carlos
- Zaman, M., Chen, D. e Laguros, J. (1994). Resilient moduli of Granular Materials: *Journal of Geotechnical Engineering*, v.120, n. 6, p. 976-988

Endereço dos autores

Idalíria de Moraes Dias (idaliria@yahoo.com.br)

Alexandre Benetti Parreira (parreira@usp.br)

Departamento de Transportes – Escola de Engenharia de São Carlos/USP

Av Trabalhador São Carlense, 400 – Centro-CEP 135600-590 – São Carlos-SP

Tel: (16) 3373-9617 Fax: (16) 3373-9602