

MÓDULO DE RESILIÊNCIA DE UM SOLO ARENOSO E DE SUAS MISTURAS COM ALCATRÃO FRACIONADO E CAL¹

Giovani Levi Sant'Anna², Carlos Cardoso Machado³, Carlos Alexandre Braz de Carvalho⁴, Dario Cardoso de Lima⁵ e Luciano José Minetti⁶

RESUMO - O conhecimento do módulo de resiliência dos solos de subleito e dos materiais que compõem as camadas de pavimentos rodoviários é obrigatório para uma análise eficiente de seu comportamento estrutural como um todo. Devido à importância dos materiais granulares como constituintes de camadas de pavimentos rodoviários flexíveis, tem-se evidenciado maior interesse em abordar a sua resposta resiliente e de misturas estabilizadas quimicamente obtidas a partir destes, procurando conhecer o seu comportamento mecânico, sob a ação de cargas repetidas, quando constituintes do pavimento de estradas florestais. Buscou-se, com a realização deste trabalho, identificar o módulo de resiliência de um solo arenoso comum na região de Viçosa-MG, em seu estado natural e quando estabilizado com cal e alcatrão, e propor correlações empíricas entre este e outros parâmetros geotécnicos de fácil obtenção em laboratório.

Palavras-chave: Estradas florestais, ensaio triaxial de cargas repetidas, módulo de resiliência e aditivos químicos.

RESILIENT MODULUS OF A SANDY SOIL AND ITS MIXTURES WITH FRACTIONED TAR AND LIME

ABSTRACT - Understanding the resilient modulus (M_R) of the sub-grade soils and materials composing the layers of road pavements is crucial for an efficient analysis of their structural behavior as a whole. Due to the importance of the granular materials as layers of flexible road pavements, it has been a practice to determine their resilient response and that of their chemically stabilized mixtures in order to understand their mechanical behavior under repeated loads when used as layers of forest road pavement. This work was conducted to identify the geotechnical and resilient properties of a sandy soil in the county of Viçosa-MG, in its natural state and after stabilization with lime and tar and to propose empirical correlations between the resilient modulus of these materials and geotechnical parameters easily determined from laboratory testing data.

Key words: Forest roads, repeated-loading triaxial testing, resilient modulus and chemical additives.

1. INTRODUÇÃO

A importância dos materiais granulares como constituintes de camadas de pavimentos rodoviários flexíveis tem evidenciado o maior interesse em abordar a sua resposta resiliente e a de suas misturas estabilizadas

quimicamente, procurando conhecer o seu comportamento mecânico sob a ação de cargas repetidas e transientes, quando constituintes do pavimento de estradas florestais.

A determinação do módulo de resiliência através de ensaios triaxiais de cargas repetidas em laboratório é

¹ Recebido para publicação em 10.7.2002.

Aceito para publicação em 9.9.2003.

² Mestre em Ciência Florestal, Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa – UFV, 36570-000 Viçosa-MG, <ms25751@correio.ufv.br>; ³ Professor Titular do Departamento de Engenharia Florestal – UFV; ⁴ Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Civil – UFV, <cabraz@mail.ufv.br>; ⁵ Professor Titular do Departamento de Engenharia Civil – UFV, <dariodelima@aol.com>; ⁶ Professor Substituto do Departamento de Engenharia Florestal – UFV.

um procedimento considerado especial, por exigir equipamentos relativamente complexos e caros, tornando restrito o seu uso fora das instituições acadêmicas ou de pesquisa. Este fato explica a pouca experiência, no Brasil, no que diz respeito à determinação das propriedades geotécnicas dinâmicas dos solos (Barros, 1997), principalmente quando se trata da obtenção, em laboratório, do módulo de resiliência de solos arenosos e argilosos.

Assim, Trindade et al. (2001), Carmo (1998), Lee et al. (1997) e Bernucci (1995), entre outros pesquisadores, propuseram, ao longo dos anos, correlações empíricas entre o módulo de resiliência e outros parâmetros geotécnicos de fácil obtenção.

Como o tipo de solo é de grande significância na avaliação do parâmetro reatividade solo-estabilizante, cresce o interesse em desenvolver estudos de caráter regional para a análise das propriedades dinâmicas de misturas estabilizadas, particularmente considerando suas aplicações no campo de estradas florestais.

Os objetivos deste trabalho foram avaliar a resposta mecânica do parâmetro módulo de resiliência de uma amostra de solo da microrregião de Viçosa-MG, em seu estado natural e estabilizada com alcatrão de madeira e cal-alcatrão, para fins de pavimentação de estradas florestais, e propor correlações entre este e outros parâmetros geotécnicos de fácil obtenção em laboratório.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Caracterização da Área de Estudo e Amostragem

Foi utilizado um solo saprolítico de grande ocorrência no relevo do município de Viçosa-MG. Este solo, denominado de VS, de textura arenosa, compõe o manto saprolítico, horizonte C, dos solos da região. Apresenta ainda coloração acinzentada, com granulometria areno-silto-argilosa, (74% de areia, 16% de silte e 10% de argila). Quanto à sua classificação, segundo o sistema HRB, é um solo do grupo A-2-4(0), enquanto na classificação MCT, é um solo NS'.

A amostra utilizada no estudo foi coletada na base de um talude no campus da Universidade Federal de Viçosa (UFV), entre o Serviço Médico e a Vila Secundino, nas proximidades da Sericicultura.

A cal empregada como estabilizante, no teor de 2% em relação ao peso de solo seco, foi do tipo hidratada,

normalmente empregada em argamassas e denominada comercialmente de "Supercal". Foi utilizado alcatrão, nos teores de 0,00, 0,25, 0,50 e 1,00%, que foi obtido da empresa V&M Florestal, e posteriormente passado por tratamento térmico a 170°C, na Universidade Federal de Viçosa.

2.2. Ensaio de Laboratório

2.2.1. Ensaio de Compactação

Este ensaio foi realizado, visando a obtenção do parâmetro peso específico seco máximo e teor ótimo de umidade do solo em seu estado natural e de suas misturas estabilizadas quimicamente de acordo com o método AASHTO, correspondente à norma NBR 7182/86 (Solo – Ensaio de Compactação).

2.2.2. Resistência à Compressão Simples

Este ensaio foi realizado em uma amostra do solo e nas misturas solo-cal-alcatrão, em concordância com a metodologia preconizada por Head (1982), mas com aplicação da taxa de deformação de 1% sugerida por Lee et al. (1997).

2.2.3. Módulo de Resiliência

Os módulos de resiliência do solo e das misturas de solo-cal-alcatrão foram determinados segundo a norma DNER-ME 131/94 (Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, 1994), a partir dos resultados dos ensaios triaxiais de cargas repetidas, com instrumentação interna à câmara triaxial.

Para realização dos ensaios de compressão simples foram moldados corpos-de-prova do solo VS, no estado natural e estabilizado com alcatrão e, ou, cal, compactados na energia do ensaio AASHTO Normal. Foram moldados por processo dinâmico em três camadas iguais, considerando os seguintes limites fixados na preparação das amostras: $10 \pm 0,05$ cm; diâmetro: 5 cm; teor ótimo de umidade $\pm 0,3\%$; grau de compactação: $100 \pm 0,3\%$. Os corpos-de-prova foram rompidos em uma prensa de compressão simples, com velocidade de subida do prato de 1 mm/min, como proposto por LEE et al. (1997). Os corpos-de-prova do solo no estado natural foram levados à ruptura logo após sua moldagem, e para os corpos-de-prova obtidos das misturas estabilizadas quimicamente foram obedecidos tempos de cura de 1, 7 e 28 dias. Para

cada situação ensaiou-se um corpo-de-prova e determinou-se a sua curva tensão *versus* deformação do corpo-de-prova, obtendo-se os valores de tensão correspondentes à deformação de 1% ($S_{u1\%}$) e o módulo tangente inicial (E_0).

2.3. Correlação para a Estimativa do Módulo de Resiliência dos Solos

O emprego de ensaios mais simples para determinação do módulo de resiliência dos solos a partir do desenvolvimento de correlações entre esse parâmetro e ensaios-padrão de engenharia rodoviária é sugerido pela AASHTO (1986).

Todavia, é necessário observar que algumas das possíveis correlações podem não levar em consideração parâmetros importantes, como a dependência do módulo de resiliência com os níveis de tensão aplicados, o que acaba por restringir seu campo de emprego em estradas; daí o interesse em desenvolver correlações entre o módulo de resiliência e as propriedades índices dos solos, merecendo destaque a resiliência não confinada.

Lee et al. (1997) determinaram a correlação entre o módulo de resiliência de três solos finos de subleito do estado de Indiana, Estados Unidos, e a resistência à compressão simples $S_{u1\%}$. Os autores determinaram uma correlação significativa ($R^2 = 0,97$) entre os parâmetros M_R e $S_{u1\%}$, apresentados na equação 1:

$$M_R \text{ (psi)} = 695,4 (S_{u1\%}) - 5,93 (S_{u1\%})^2 \quad (1)$$

Os autores concluíram que a tensão determinada a 1% de deformação no ensaio de compressão não confinada é um bom indicador do módulo de resiliência.

Carmo (1998) propõe duas equações para determinação do módulo de resiliência a partir do módulo tangente inicial determinado em ensaios de compressão não confinada (E_0 , em kPa), da tensão-desvio (σ_d , em kPa) e do primeiro invariante de tensões (θ , em kPa). Para solos argilosos e arenosos têm-se, respectivamente, as relações apresentadas nas equações 2 e 3.

$$M_R \text{ (kPa)} = 4.523,088 (E_0)^{0,315821} (\sigma_d)^{-0,343628} (\theta)^{0,419295} \quad (2)$$

$$M_R \text{ (kPa)} = 458,8053 (E_0)^{0,491871} (\sigma_d)^{0,542580} (\theta)^{-2,33031} \quad (3)$$

Trindade et al. (2001), trabalhando com um solo arenoso representativo do relevo da cidade de Viçosa-MG, em seu estado natural e estabilizado com 5% de

cimento tipo CII-E-32, em relação ao peso de solo seco, encontraram um coeficiente de determinação (R^2) igual a 0,85, quando analisaram a relação entre o módulo de resiliência, a tensão correspondente à deformação de 1% e o estado de tensões. Para a relação entre o módulo de resiliência, o módulo tangente inicial e o estado de tensões, os autores relataram um (R^2) igual a 0,93. Equações 4 e 5, respectivamente.

$$M_R = \frac{0,047 \cdot (\theta)^{0,9204} \cdot (S_{u1\%})^{0,9772}}{(\sigma_d)^{0,4125}} \quad (4)$$

$$M_R = \frac{0,1738 \cdot (\theta)^{0,9110} \cdot (E_0)^{1,0754}}{(\sigma_d)^{0,4044}} \quad (5)$$

Para o cálculo dos módulos resilientes apresentados neste trabalho, visando a sua correlação com alguns dos parâmetros geotécnicos de fácil obtenção, utilizou-se a tensão-desvio de 70 kPa.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Compactação

Pelos resultados obtidos, observa-se que a inclusão do alcatrão e da cal causou variações no peso específico seco máximo ($\gamma_{dm\acute{a}x}$) e no teor ótimo de umidade (W_{ot}) da mistura, em comparação com o solo no estado natural. Foram constatados um decréscimo no teor ótimo de umidade e um ligeiro acréscimo no peso específico seco máximo das misturas com alcatrão. Quando se trabalhou com cal e alcatrão, observou-se que houve pequeno acréscimo nos valores do teor ótimo de umidade e queda no peso específico seco máximo, quando comparados com o solo em seu estado natural ou estabilizado somente com o uso do alcatrão, como se apresenta no Quadro 1.

A comparação das misturas solo-alcatrão e solo-cal-alcatrão mostra aumento no teor ótimo de umidade e queda no peso específico seco máximo das últimas, variações estas possivelmente relacionadas ao fato de a adição de cal ter sido responsável pelo aumento da fração fina do solo, redundando em aumento no teor ótimo de umidade e queda no peso específico seco máximo.

3.2. Resistência à Compressão Simples

Os Quadros 2 e 3 e as Figuras 1 e 2 apresentam os resultados dos ensaios de compressão simples, tensão

Quadro 1 – Parâmetros de compactação das misturas solo-alcatrão e solo-cal-alcatrão: teor ótimo de umidade ($W_{ót}$) e peso específico seco máximo ($\gamma_{dmáx}$)

Table 1 – *Compaction parameters of soil-tar and soil-lime-tar mixtures: optimum water content ($W_{ót}$) and maximum dry density ($\gamma_{dmáx}$)*

% Alcatrão	Mistura Solo- Alcatrão		Mistura Solo- Cal-Alcatrão	
	$W_{ót}$ (%)	$\gamma_{dmáx}$ (kN/m ³)	$W_{ót}$ (%)	$\gamma_{dmáx}$ (kN/m ³)
0	14,0	18,10	14,3	17,73
0,25	13,6	18,19	15,5	17,70
0,50	13,1	18,32	15,0	17,70
1,00	12,8	18,54	15,3	17,70

Fonte: Fernandes (2000).

correspondente à deformação de 1% ($S_{u1\%}$) e módulo tangente inicial (E_0), nos períodos de cura de 1, 7 e 28 dias, para as misturas ensaiadas.

De modo geral, constatou-se que a adição de alcatrão e alcatrão-cal ao solo VS, considerando o tempo de cura

Quadro 2 – Resultados dos ensaios de compressão simples (RCS), tensão correspondente à deformação de 1% ($S_{u1\%}$) e módulo tangente inicial (E_0) para as misturas solo-alcatrão

Table 2 – *Unconfined compression testing data determined at 1% strain ($S_{u1\%}$), and initial tangent modulus (E_0) for soil-tar mixtures*

Alcatrão (%)	Período de Cura (dia)								
	1			7			28		
	RCS (kPa)	$S_{u1\%}$ (kPa)	E_0 (kPa)	RCS (kPa)	$S_{u1\%}$ (kPa)	E_0 (kPa)	RCS (kPa)	$S_{u1\%}$ (kPa)	E_0 (kPa)
0,00	148	55	10.000	-	-	-	-	-	-
0,25	129	55	7.000	140	65	9.000	129	95	14.500
0,50	122	80	10.800	145	76	10.000	139	98	12.600
1,00	113	78	6.500	152	100	12.800	171	125	13.000

Quadro 3 – Resultados dos ensaios de compressão simples (RCS), tensão correspondente à deformação de 1% ($S_{u1\%}$) e módulo tangente inicial (E_0) para as misturas solo-cal-alcatrão

Table 3 – *Unconfined compression testing data determined at peak and at 1% strain ($S_{u1\%}$) and initial tangent modulus (E_0) for the soil-lime-tar mixtures*

Cal (2%)	Período de Cura (dia)								
	1			7			28		
	RCS (kPa)	$S_{u1\%}$ (kPa)	E_0 (kPa)	RCS (kPa)	$S_{u1\%}$ (kPa)	E_0 (kPa)	RCS (kPa)	$S_{u1\%}$ (kPa)	E_0 (kPa)
0,00	173	95	13.000	498	360	41.000	400	390	56.000
0,25	170	100	15.000	256	175	15.500	238	110	29.000
0,50	164	90	14.000	186	140	17.000	207	140	48.000
1,00	143	100	14.000	157	95	16.500	212	160	13.500

de 28 dias, foi responsável por uma variação significativa nos valores de resistência à compressão simples (RCS), tensão correspondente à deformação de 1% ($S_{u1\%}$) e módulo tangente inicial (E_0) do solo.

No caso das misturas solo-alcatrão, nota-se a influência do tempo de cura nas suas respostas mecânicas. Para o período de cura de 28 dias, conclui-se que o teor ótimo de alcatrão é de 1%, para os quantitativos ensaiados.

Quanto às misturas solo-cal-alcatrão, observa-se que a adição de alcatrão não foi responsável por ganhos nos parâmetros mecânicos das misturas solo-cal.

3.3. Módulo de Resiliência

De acordo com Parreira et al. (1998), a condição de carregamento, o estado de tensão e a natureza do solo e das misturas estabilizadas quimicamente estão entre um grande número de fatores que podem causar variações no valor do módulo de resiliência.

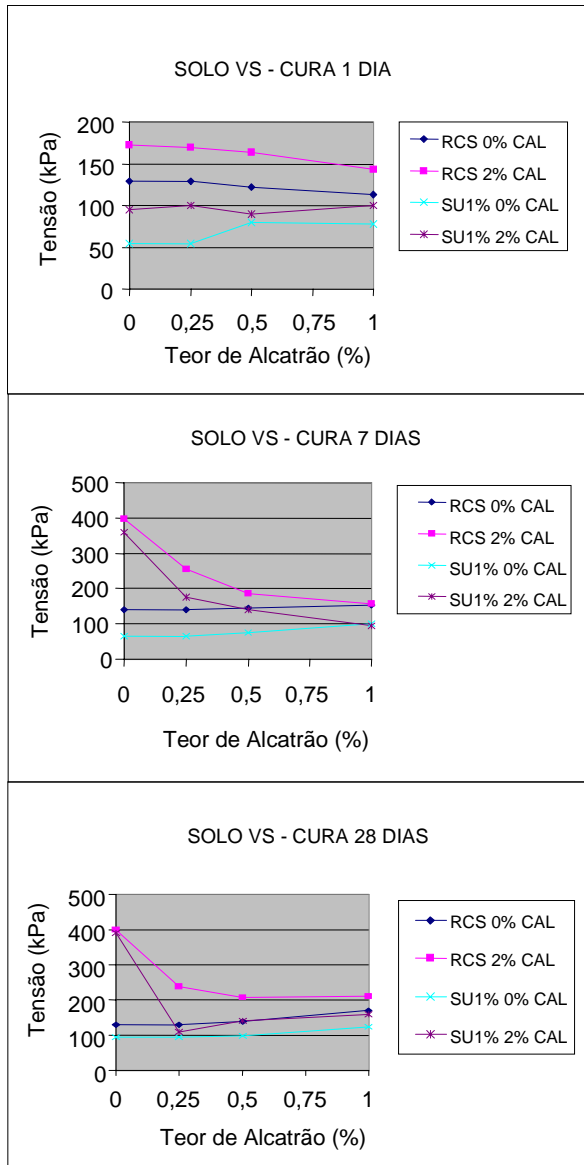


Figura 1 – Resultados dos ensaios de compressão simples (RCS) e tensão correspondente à deformação de 1% ($S_{u1\%}$) para mistura solo-alcatrão e solo-cal-alcatrão.

Figure 1 – Unconfined compression testing data determined at peak and at 1% strain ($S_{u1\%}$) for the soil-tar mixtures and soil-lime-tar mixtures.

A maioria dos modelos adotados em mecânica dos pavimentos foi desenvolvida quando a natureza do solo foi levada em consideração com predomínio da tensão-desvio ou da tensão confinante, dependendo da textura do solo ser argilosa ou arenosa, respectivamente.

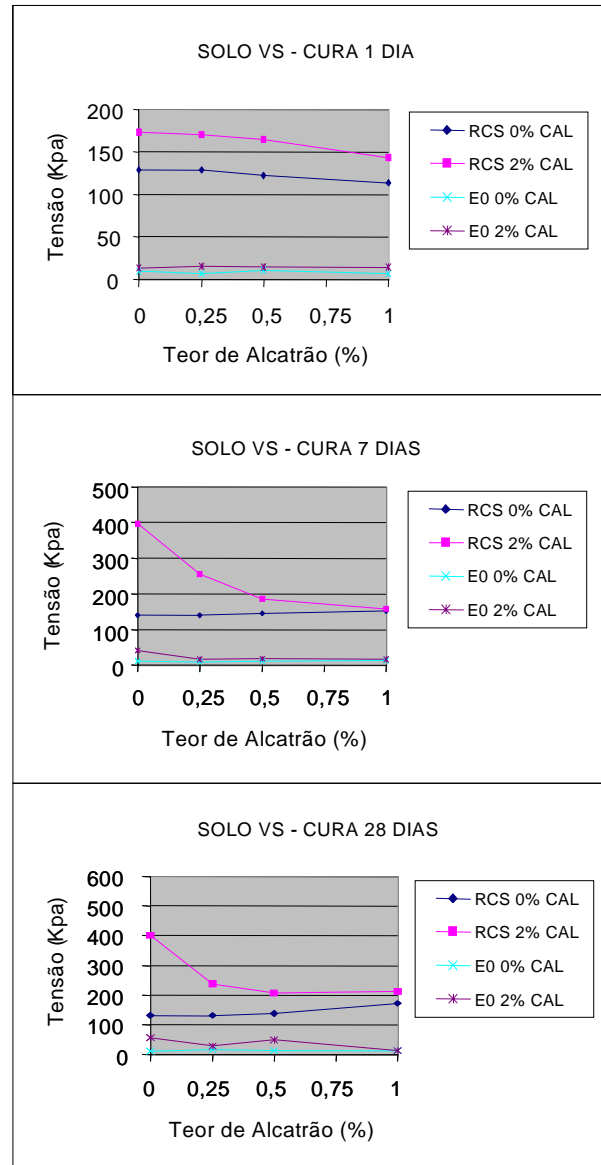


Figura 2 – Resultados dos ensaios de compressão simples (RCS) e módulo tangente inicial (E_0) para mistura solo-alcatrão e solo-cal-alcatrão.

Figure 2 – Unconfined compression testing data and initial tangent modulus (E_0) for the soil-tar and soil-lime-tar mixtures.

Com base nos resultados dos ensaios triaxiais cíclicos, procurou-se avaliar o desempenho do modelo sugerido no método do DNER-ME 131/94 para a representação da variação do módulo de resiliência com o estado de tensão (equações 6 e 7). Optou-se pelo modelo

descrito pela equação 6 como o de melhor desempenho, tanto para o solo em seu estado natural quanto para o solo estabilizado quimicamente. Nos solos arenosos, como o VS, o módulo depende principalmente da tensão confinante, σ_3 , ou da soma das tensões principais, θ .

$$M_R = k_1 \cdot \sigma_3^{k_2}; \quad (6)$$

$$M_R = k_1 \cdot \theta^{k_2} \quad (7)$$

em que M_R = módulo de resiliência (MPa); σ_d = tensão-desvio (kPa); e k_1 (kPa) k_2 = parâmetros que variam de acordo com o material utilizado.

Os valores dos parâmetros k_1 (kPa) e k_2 e os respectivos coeficientes de determinação (R^2), obtidos a partir dos resultados dos ensaios triaxiais de cargas repetidas, para cada um dos materiais estudados, solo natural e misturas, para diferentes teores de alcatrão e períodos de cura, estão nos Quadros 4, 5 e 6.

Quadro 4 – Parâmetros obtidos através do ensaio triaxial de cargas repetidas para o solo VS e para as mistura VS + cal + alcatrão, para o período de cura de um dia.

Table 4 – Material indices k_1 and k_2 obtained from repeated-loading triaxial testing data: soil VS and soil-VS-lime-tar mixtures for one day curing time

Alcatrão				Alcatrão + Cal (2%)			
Teor de Alcatrão (%)		Cura = 1 dia		Teor de Alcatrão (%)		Cura = 1 dia	
	k_1	k_2	R^2		k_1	k_2	R^2
0,00	5,9130	0,7190	0,9282	0,00	6,6812	0,7564	0,9745
0,25	8,1574	0,6062	0,9651	0,25	1,3387	1,0931	0,9818
0,50	5,7788	0,6265	0,9119	0,50	11,615	0,6445	0,9043
1,00	12,482	0,4389	0,7374	1,00	5,4966	0,7056	0,9719

Quadro 5 – Parâmetros obtidos através do ensaio triaxial de cargas repetidas para o solo VS e para as misturas VS + cal + alcatrão, para período de cura de sete dias

Table 5 – Material indices k_1 and k_2 , obtained from repeated-loading triaxial testing data for soil VS and soil-VS-lime-tar mixtures, seven-day curing time

Alcatrão				Alcatrão + Cal (2%)			
Teor de Alcatrão (%)		Cura = 7 dias		Teor de Alcatrão (%)		Cura = 7 dias	
	k_1	k_2	R^2		k_1	k_2	R^2
0,00	5,9130	0,7190	0,9282	0,00	29,455	0,4976	0,9567
0,25	3,8696	0,7516	0,8289	0,25	32,531	0,4159	0,9299
0,50	6,9293	0,6279	0,7035	0,50	26,814	0,4496	0,9142
1,00	5,8524	0,5449	0,7003	1,00	5,2189	0,726	0,9524

Quadro 6 – Parâmetros obtidos através do ensaio triaxial de cargas repetidas para o solo VS e para as misturas VS + cal + alcatrão, para período de cura de 28 dias

Table 6 – Material indices k_1 and k_2 , obtained from repeated-loading triaxial testing data for soil VS and soil-VS-lime-tar mixtures, twenty eight-day curing time

Alcatrão				Alcatrão + Cal (2%)			
Teor de Alcatrão (%)		Cura = 28 dias		Teor de Alcatrão (%)		Cura = 28 dias	
	k_1	k_2	R^2		k_1	k_2	R^2
0,00	5,9130	0,7190	0,9282	0,00	36,492	0,4473	0,9382
0,25	4,7194	0,767	0,9431	0,25	14,633	0,5955	0,9011
0,50	4,6828	0,8361	0,9753	0,50	10,421	0,7127	0,9396
1,00	4,7193	0,7648	0,8103	1,00	10,951	0,5555	0,8648

Analisando os resultados apresentados nos Quadros 4, 5 e 6, observa-se que houve uma significativa variação dos coeficientes k_1 e k_2 em função do teor de alcatrão e da utilização da cal. Outros fatores, como o tempo de cura e de adição de cal, exercem forte influência sobre os valores dos módulos de resiliência.

3.4. Correlações Obtidas entre o Módulo de Resiliência e Parâmetros Geotécnicos de Fácil Obtenção

Quando se trabalhou com as misturas solo, cal e alcatrão nos períodos de cura de 1, 7 e 28 dias, obteve-se o maior coeficiente de determinação, (R^2) igual a 0,809 e um desvio-padrão de 0,067, entre todas as correlações testadas para o solo VS em seu estado natural e estabilizado quimicamente. Este valor foi observado para a correlação efetuada entre o módulo de resiliência (M_R) e os parâmetros tensão-desvio (σ_d), primeiro invariante de tensão (θ) e o módulo tangente inicial (E_0), conforme se apresenta na equação 8 e na Figura 3.

$$M_R = \frac{88,90E^{1,300154}}{\theta^{0,65038}} R^2 = 0,811 \quad (8)$$

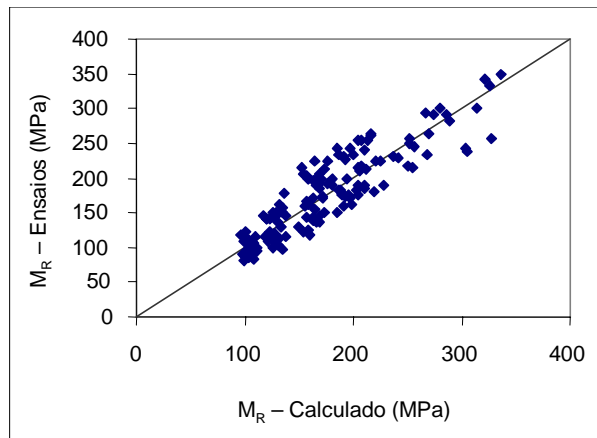


Figura 3 – M_R observado versus M_R estimado para o solo VS em seu estado natural e estabilizado quimicamente com cal e alcatrão.

Figure 3 – Observed M_R versus estimated M_R , for soil VS in its natural state and stabilized chemically with lime and tar.

Observa-se que os parâmetros obtidos através dos resultados dos ensaios de compressão simples [tensão

correspondente à deformação de 1% ($S_{u1\%}$) e módulo tangente inicial (E_0)] guardam estreita relação com o módulo de resiliência, uma vez que eles também são obtidos no ramo elástico da curva tensão versus deformação obtida no ensaio de compressão não confinada, o que leva a crer serem promissoras as tentativas de correlações entre esses parâmetros e o módulo de resiliência.

4. CONCLUSÕES

Com base nos valores dos coeficientes de determinação (R^2) encontrados para algumas correlações do módulo de resiliência com o parâmetro de tensão correspondente à deformação de 1% com o módulo tangente inicial dos solos e, ou, misturas estabilizadas quimicamente, conclui-se que é possível determinar o módulo de resiliência das misturas através do emprego de alguns parâmetros geotécnicos de fácil obtenção, merecendo destaque a utilização da tensão correspondente à deformação de 1% e do módulo tangente inicial. Ambos os parâmetros ocorrem no ramo elástico das curvas tensão versus deformação e é justamente no regime elástico que o módulo de resiliência atua, avaliando a rigidez do material.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AASHTO **Guide for Design of Pavement Structures**. Washington: American Association of State Highway Officials, 1986. v. 1.

BARROS, J. M. C. Módulo de cisalhamento máximo de solos tropicais brasileiros. In: CONGRESSO NACIONAL DE GEOTECNIA, 6., 1997, Lisboa. **Anais...** Lisboa: 1997. p. 117-126.

BERNUCCI, L. L. B. **Considerações sobre o dimensionamento de pavimentos utilizando solos lateríticos para rodovias de baixo volume de tráfego**. 1995. 237 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

CARMO, C. A. T. **A avaliação do módulo de resiliência através de ensaios triaxiais dinâmicos de dois solos compactados e a sua estimativa a partir de ensaios rotineiros**. 1998. 131 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 1998.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM - DNER. **Solos - Determinação do Módulo de Resiliência**. Norma Rodoviária DNER-ME 131/94. São Paulo: 1994. 8 p.

FERNANDES, D. C. M. **Viabilidade do uso de alcatrão de madeira de eucalipto na estabilização de solos residuais para fins rodoviários**. 2000. 124 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2000.

HEAD, K. H. **Manual of soil laboratory testing**– Permeability, shear strength and compressibility tests. New York: John Wiley & Sons, 1982. v. 2. 412 p.

LEE, W. et al. Resilient Modulus of Cohesive Soils. ASCE. **Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering**, v. 123, n. 2, p. 131-136, 1997.

PARREIRA, A. B. et al. O módulo resiliente de alguns materiais de pavimentação e a sua estimativa a partir de ensaios de compressão simples. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA, 11., 1998, Brasília. **Anais...** Brasília: 1998. p. 149-155.

SANT'ANNA, G. L. et al. Módulo de resiliência de solos e misturas estabilizadas quimicamente. In: FOREST 2000, Porto Seguro. **Anais...** Porto Seguro: BIOSFERA, 2000. p. 411-413.

TRINDADE, T. P.; C. A. B.; LIMA, D. C. Comportamento resiliente de um solo arenoso da região de Viçosa-MG no estado natural e estabilizado com cimento. In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 33., 2001, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: 2001. p. 369-382.