

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**  
**ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS**  
**Departamento de Transportes**  
**Área de Pós-graduação em Transportes**

**ESTUDO DO COMPORTAMENTO RESILIENTE DE  
TRÊS SOLOS DA REGIÃO DE CAMPO GRANDE-MS E  
DE RELAÇÕES ENTRE O MÓDULO DE RESILIÊNCIA  
E RESULTADOS DE ENSAIOS DE COMPRESSÃO  
SIMPLES**

**Adriana Goulart dos Santos**

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil – Área de Transportes.

**ORIENTADOR: Prof. Dr. Alexandre Benetti Parreira**

São Carlos  
2003

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento  
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC-USP



**DEDICATÓRIA**

---

Aos meus pais, Noel e Ieda,  
pelo amor, dedicação e incentivo.

---

## AGRADECIMENTOS

---

Aos meus pais, Noel e Ieda a quem dedico as minhas alegrias e os bons resultados do meu trabalho pelo carinho e incentivo ao longo de todas as etapas de minha vida.

Ao Prof. Dr. Alexandre Benetti Parreira, pela orientação para a realização desta dissertação.

Aos professores do Departamento de Transportes da Escola de Engenharia de São Carlos – USP, em especial ao professor Glauco Túlio Pessa Fabri, pelos conselhos e conhecimentos transmitidos na etapa experimental deste trabalho.

Aos funcionários do Laboratório de Estradas da EESC/USP, Gigante, Paulo e João, pela participação dedicada e prestativa na execução dos ensaios desta pesquisa.

A Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Laura Maria Goretti da Motta, pelo apoio e sugestões durante a realização dos ensaios triaxiais cíclicos no Laboratório de Mecânica dos Pavimentos da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Aos funcionários do Laboratório de Mecânica dos Pavimentos da COPPE/UFRJ, Bororó, Álvaro e Ricardo, pelo auxílio e boa vontade durante a execução dos ensaios triaxiais cíclicos.

A todos os meus colegas de orientação, Andréa Kobayashi, Everton Parente, Hélio Marcos e Marta Pereira pelo compartilhamento de conhecimentos e experiências.

Ao colegas Marcelo Takeda e Rogério Bezerra Neto, pela grande ajuda durante a realização dos ensaios.

A todos os meus amigos e colegas do Departamento de Transportes, em especial, Adalberto Faxina, Patrícia Beghini, Célio Daroncho, Scarlett Leiva, Fernanda Biroli, Marilda, Marcão, Alexandre Lima, Josiane Palma Lima, Renato Lima, Ricardinho, Renato Tiago, Pastor, João Mota, Ana Paula Furlan, Rômulo e João Marcello. Agradeço a amizade, a experiência compartilhada e o coleguismo.

Aos amigos, Nívea, Kátia, Cláudia, Paulo, Maysa pela amizade e companherismo.

Aos funcionários da EESC/USP, em especial ao Carlos Toco, Heloísa, Elizabeth, Magali e Lílian (Departamento de Transportes), aos laboratoristas José Luís e Dito (Departamento de Geotecnia), cada um contribuindo com sua especialidade na elaboração deste trabalho.

À CAPES, pela concessão de uma bolsa de estudos.

---

**SUMÁRIO**


---

<b>LISTA DE FIGURAS</b>	<b>vii</b>
<b>LISTA DE TABELAS</b>	<b>xi</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SÍGLAS</b>	<b>xiv</b>
<b>LISTA DE SÍMBOLOS</b>	<b>xv</b>
<b>RESUMO</b>	<b>xvii</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>xviii</b>
<b>CAPÍTULO 1- INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
1.1 Considerações iniciais	1
1.2 Objetivo da Objeto	5
1.3 Métodos	5
1.4 Organização do Trabalho	6
<b>CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>8</b>
2.1 Introdução	8
2.2 Ensaios	9
2.3 Características do corpo-de-prova	9
2.4 Equipamento e procedimento para o ensaio triaxial cíclico	12
2.5 Relações entre o $M_R$ e as tensões aplicadas	17
2.6 Relações matemáticas entre o módulo de resiliência e parâmetros determinados em outros ensaios	31
2.6.1 $M_R$ e ensaios de compressão simples	31
2.6.2 $M_R$ , ensaios de compressão simples e características do solo	34
2.6.3 $M_R$ e CBR	36
2.6.4 $M_R$ , CBR e características do solo	40
2.6.5 $M_R$ e ensaio triaxial convencional	43
2.6.6 $M_R$ , características e natureza do solo	46
<b>CAPÍTULO 3 - MATERIAIS E MÉTODOS</b>	<b>53</b>
3.1 Introdução	53
3.2 Origem e características físicas dos solos utilizados	53
3.2.1 Origem	53
3.2.2 Massa específica dos solos e limites de Atterberg	54
3.2.3 Granulometria	55
3.2.4 Classificações HRB, USCS e MCT dos solos pesquisados	57
3.2.5 Umidade ótima e massa específica aparente seca máxima	58
3.3 Ensaio triaxiais cíclicos	61
3.3.1 Procedimento e cálculo do ensaio	65
3.4 Ensaio de compressão simples	66
3.4.1 Determinação do módulo tangente inicial	67
3.5 Análise dos resultados	68
<b>CAPÍTULO 4 - APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS</b>	<b>70</b>
4.1 Introdução	70

---

4.2	Ensaio triaxiais cíclicos e a modelagem do modulo de resiliência em função do estado de tensão	70
4.2.1	Introdução	70
4.2.2	Solo Argiloso	71
4.2.3	Solo Areno-argiloso	78
4.2.4	Solo Arenoso	85
4.3	Modelagem matemática considerando o $M_R$ e o $E_o$ do ensaio de compressão simples	93
4.3.1	Ensaio de compressão simples	93
4.3.2	Modelagem matemática do $M_R$ em função do $E_o$ e do estado de tensão considerando-se apenas os solos desta pesquisa	96
4.3.3	Modelagem matemática do $M_R$ em função do $E_o$ e do estado de tensão considerando-se os solos desta pesquisa e de outras pesquisas desenvolvidas na EESC-USP	107
<b>CAPÍTULO 5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES</b>		<b>118</b>
5.1	Conclusões	118
5.2	Recomendações para trabalhos futuros	121
<b>ANEXO A</b>		<b>122</b>
<b>ANEXO B</b>		<b>131</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>		<b>140</b>

---

**LISTA DE FIGURAS**


---

FIGURA 1.1 –	Relação tensão-deformação típica nas camadas dos pavimentos (ELLIOT&THORTON, 1988)	2
FIGURA 2.1 –	Painel de controle e a prensa responsável pelo ensaio triaxial cíclico, juntamente com a base da câmara triaxial e os LVDT's fixados no corpo-de-prova	9
FIGURA 2.2 –	Carregamento utilizado no estudo de CHEN <i>et al.</i> (1994)	14
FIGURA 2.3 –	Formato do pulso de carregamento segundo a norma AASHTO TP 46-94	14
FIGURA 2.4 –	Representação gráfica do modelo bi-linear	19
FIGURA 2.5 –	Gráfico para a estimativa do parâmetro <i>a</i> (Fonte: LEE <i>et al.</i> , 1995)	33
FIGURA 2.6 –	Modelo hiperbólico para a representação dos resultados dos ensaios de compressão simples (Fonte: DRUMM <i>et al.</i> , 1990)	35
FIGURA 2.7 –	Relação linear para a determinação dos parâmetros <i>a</i> e <i>b</i> do modelo hiperbólico (Fonte: DRUMM <i>et al.</i> , 1990)	35
FIGURA 2.8 –	Valores de módulo de resiliência obtidos nos ensaios triaxiais cíclicos versus valores obtidos através da aplicação do modelo descrito pela equação 2.28	40
FIGURA 2.9 –	Períodos de carregamento e descarregamento nos ensaios triaxiais convencionais empregados por SWEERE & GALJAARD (1988)	44
FIGURA 2.10 –	Tensão desvio e deformação axial versus o tempo nos ensaios triaxiais convencionais	44
FIGURA 2.11 –	Valores de módulo de resiliência obtidos nos ensaios triaxiais cíclicos versus valores obtidos através da aplicação do modelo	52
FIGURA 3.1 –	Mapa geográfico ilustrando o local de coleta dos materiais envolvidos no desenvolvimento desta pesquisa.	54
FIGURA 3.2 –	Curva granulométrica do solo argiloso	55
FIGURA 3.3 –	Curva granulométrica do solo areno-argiloso	56
FIGURA 3.4 –	Curva granulométrica do solo arenoso	56
FIGURA 3.5 –	Curva granulométrica conjunta dos três solos	57
FIGURA 3.6 –	Classificação geotécnica dos solos, segundo a Metodologia MCT (Miniatura Compactado Tropical)	58
FIGURA 3.7 –	Curva de compactação do solo argiloso na energia normal e intermediária	59
FIGURA 3.8 –	Curva de compactação do solo areno-argiloso na energia intermediária e modificada	59
FIGURA 3.9 –	Curva de compactação do solo arenoso na energia	60

---

	normal e intermediária	
FIGURA 3.10 –	LVDTs fixados no corpo-de-prova já instalado na base da câmara triaxial – COPPE/UFRJ	62
FIGURA 3.11 –	Montagem da câmara triaxial – COPPE/UFRJ	62
FIGURA 3.12 –	Prensa utilizada para compactação dos corpos de prova na COPPE/UFRJ	64
FIGURA 3.13 –	Cilindros de metal utilizado na moldagem dos corpos de prova	65
FIGURA 3.14 –	Prensa utilizada para os ensaios de compressão simples na EESC/USP	67
FIGURA 3.15 –	Exemplo da estimativa de $E_0$ a partir da determinação do coeficiente “a”, segundo o modelo hiperbólico proposto por DUNCAN & CHANG (1970)	68
FIGURA 4.1 –	Módulo de resiliência versus tensão desvio para o solo argiloso compactado na energia normal, a partir dos resultados dos ensaios de três corpos-de-prova	72
FIGURA 4.2 –	Módulo de resiliência versus tensão confinamento para o solo argiloso compactado na energia normal, a partir dos resultados dos ensaios de três corpos-de-prova	72
FIGURA 4.3 –	Módulo de resiliência versus tensão desvio para o solo argiloso compactado na energia intermediária, a partir dos resultados dos ensaios de dois corpos-de-prova	73
FIGURA 4.4 –	Módulo de resiliência versus tensão confinamento para o solo argiloso compactado na energia intermediária, a partir dos resultados dos ensaios de dois corpos-de-prova	73
FIGURA 4.5 –	Representação do modelo descrito pela equação 4.9 para o solo argiloso compactado na energia normal	77
FIGURA 4.6 –	Representação do modelo descrito pela equação 4.10 para o solo argiloso compactado na energia intermediária	77
FIGURA 4.7 –	Representação da influência da energia de compactação no valor do $M_R$ do solo argiloso compactado na energia normal e intermediária, a partir dos resultados dos ensaios de todos os corpos-de-prova	78
FIGURA 4.8–	Módulo de resiliência versus tensão desvio para o solo areno-argiloso compactado na energia intermediária, a partir dos resultados dos ensaios de três corpos-de-prova	79
FIGURA 4.9 –	Módulo de resiliência versus tensão confinamento para o solo areno-argiloso compactado na energia intermediária, a partir dos resultados dos ensaios de três corpos-de-prova	80
FIGURA 4.10 –	Módulo de resiliência versus tensão desvio para o solo areno-argiloso compactado na energia modificada, a partir dos resultados dos ensaios de dois corpos-de-prova	80
FIGURA 4.11 –	Módulo de resiliência versus tensão confinamento para o solo areno-argiloso compactado na energia modificada, a partir dos resultados dos ensaios de dois corpos-de-prova	81
FIGURA 4.12 –	Representação do modelo descrito pela equação 4.11	84



	para o solo areno-argiloso compactado na energia intermediária	
FIGURA 4.13 –	Representação do modelo descrito pela equação 4.12 para o solo areno-argiloso compactado na energia modificada	84
FIGURA 4.14 –	Representação da influência da energia de compactação no valor do $M_R$ do solo arenoso compactado na energia intermediária e modificada, a partir dos resultados dos ensaios de todos os corpos-de-prova	85
FIGURA 4.15 –	Módulo de resiliência versus tensão desvio para o solo arenoso compactado na energia normal, a partir dos resultados dos ensaios de três corpos-de-prova	86
FIGURA 4.16 –	Módulo de resiliência versus tensão confinamento para o solo arenoso compactado na energia normal, a partir dos resultados dos ensaios de três corpos-de-prova	87
FIGURA 4.17 –	Módulo de resiliência versus tensão desvio para o solo arenoso compactado na energia intermediária, a partir dos resultados dos ensaios de três corpos-de-prova	87
FIGURA 4.18 –	Módulo de resiliência versus tensão confinamento para o solo arenoso compactado na energia intermediária, a partir dos resultados dos ensaios de três corpos-de-prova	88
FIGURA 4.19 –	Representação do modelo descrito pela equação 4.13 para o solo arenoso compactado na energia normal	91
FIGURA 4.20 –	Representação do modelo descrito pela equação 4.14 para o solo arenoso compactado na energia intermediária	92
FIGURA 4.21 –	Representação da influência da energia de compactação no valor do $M_R$ do solo arenoso compactado na energia normal e intermediária, a partir dos resultados dos ensaios de todos os corpos-de-prova	93
FIGURA 4.22 –	Exemplo da determinação do módulo tangente inicial, para um corpo-de-prova do solo argiloso na energia intermediária, segundo proposto por DUNCAN & CHANG (1970)	95
FIGURA 4.23 –	Módulo de resiliência: valores calculados através dos ensaios triaxiais cíclicos versus os valores determinados através da equação 4.17.	99
FIGURA 4.24 –	Módulo de resiliência: valores calculados através dos parâmetros do modelo da equação 4.5 versus os valores determinados pela equação 4.18.	101
FIGURA 4.25 –	Módulo de resiliência: valores calculados através dos parâmetros do modelo da eq. 4.5 versus os valores determinados pela equação 4.19.	104
FIGURA 4.26 –	Módulo de resiliência: valores calculados através dos parâmetros do modelo da eq. 4.5 versus os valores determinados pela equação 4.19.	106
FIGURA 4.27 –	Módulo de resiliência: valores determinados através dos parâmetros do modelo composto versus os valores determinados pela equação 4.21.	112
FIGURA 4.28 –	Módulo de resiliência: valores determinados através dos parâmetros do modelo composto versus os valores	114

FIGURA 4.29 – Módulo de resiliência: valores determinados através dos parâmetros do modelo composto versus os valores determinados pela equação 4.23. 116

---

**LISTA DE TABELAS**


---

TABELA 2.1 –	Dimensões usuais de corpos-de-prova pesquisadas na literatura	10
TABELA 2.2 –	Valores dos parâmetros $k_1$ , $k_2$ e $R^2$ obtidos do modelo $k$ - $\theta$ e $\rho_d$ e $w$ dos solos estudados por ALLEN & THOMPSON (1974)	18
TABELA 2.3 –	Valores dos parâmetros $k_1$ , $k_2$ e $R^2$ obtidos do modelo $k$ - $\sigma_3$ e $\rho_d$ e $w$ dos solos estudados por ALLEN & THOMPSON (1974)	18
TABELA 2.4 –	Valores dos parâmetros $k_1$ , $k_2$ , $k_3$ e $k_4$ determinados para o modelo bi-linear aplicado aos solos coesivos (MEDINA & PREUSSLER, 1980)	19
TABELA 2.5 –	Valores dos parâmetros $k_1$ e $k_2$ determinados por RADA & WITCZAK (1981)	21
TABELA 2.6 –	Valores dos parâmetros $k_1$ , $k_2$ e $R^2$ obtidos do modelo $k$ - $\theta$ para os solos estudados por SWEERE & GALJAARD(1988)	22
TABELA 2.7 –	Valores dos parâmetros $k_1$ , $k_2$ e $R^2$ obtidos do modelo proposto por Zaman <i>et al.</i> (1994) para os seis tipos de agregados	23
TABELA 2.8 –	Comparação entre diferentes modelos para a representação do módulo de resiliência (Fonte LI & SELIG, 1994)	24
TABELA 2.9 –	Parâmetros $k_1$ , $k_2$ e $k_3$ para solos granulares da Georgia (EUA) (SANTHA, 1994)	25
TABELA 2.10 –	Parâmetros $k_1$ e $k_3$ para solos coesivos da Georgia (EUA) (SANTHA, 1994)	26
TABELA 2.11–	Coeficientes de regressão para a areia (MOHAMMAD <i>et al.</i> , 1995)	27
TABELA 2.12–	Coeficientes de regressão para a argila siltosa (MOHAMMAD <i>et al.</i> , 1995)	27
TABELA 2.13 –	Características plásticas e classificações dos solos estudados por BERNUCCI (1995)	28
TABELA 2.14 –	Módulo de resiliência em função da tensão desvio para os ensaios realizados por BERNUCCI (1995)	28
TABELA 2.15–	Módulo de resiliência em função do primeiro invariante de tensão e da tensão de confinamento para os ensaios realizados por BERNUCCI (1995)	29
TABELA 2.16 –	Valores de $k_1$ , $k_2$ , $k_3$ e $R^2$ para diferentes condições de umidade e massa específica seca (PUPPALA <i>et al.</i> , 1996)	30
TABELA 2.17 –	Valores da variável B para os diferentes tipos de	39

	agregados nos diferentes níveis do primeiro invariante de tensão (ZAMAN <i>et al.</i> , 1994)	
TABELA 2.18 –	Valores de $R^2$ para os 6 tipos de agregados (ZAMAN <i>et al.</i> , 1994)	46
TABELA 2.19 –	Valores que representam o tipo de solos de acordo com a classificação USCS (CARMICHAEL <i>et al.</i> , 1985)	48
TABELA 2.20–	Fatores de correção (PEZO & HUDSON, 1994)	50
TABELA 3.1 –	Resultados dos ensaios de massa específica dos sólidos e limites de Atterberg	55
TABELA 3.2 –	Composição granulométrica dos materiais	57
TABELA 3.3 –	Classificação HRB, USCS e MCT dos materiais ensaiados	58
TABELA 3.4 –	Umidade ótima, massa específica seca nas energias de compactação consideradas para os três solos ensaiados	60
TABELA 3.5 –	Seqüência de tensões e número de aplicações de carga adotadas para os ensaios triaxiais cíclicos segundo procedimento da COPPE/UFRJ	63
TABELA 4.1 –	Modelos, parâmetros de calibração e $R^2$ para o solo argiloso compactado na energia normal	75
TABELA 4.2 –	Modelos, parâmetros de calibração e $R^2$ para o solo argiloso compactado na energia intermediária	75
TABELA 4.3 –	Modelos, parâmetros de calibração e $R^2$ para o solo areno-argiloso compactado na energia intermediária	82
TABELA 4.4 –	Modelos, parâmetros de calibração e $R^2$ para o solo areno-argiloso compactado na energia modificada	82
TABELA 4.5 –	Modelos, parâmetros de calibração e $R^2$ para o solo arenoso compactado na energia normal	89
TABELA 4.6 –	Modelos, parâmetros de calibração e $R^2$ para o solo arenoso compactado na energia intermediária	90
TABELA 4.7 –	Valores do módulo tangente inicial para cada um dos corpos-de-prova ensaiados	96
TABELA 4.8 –	Expressões matemáticas analisadas para representar a variação do módulo de resiliência em função do módulo tangente inicial e estado de tensão para os solos desta pesquisa – Análise 1	98
TABELA 4.9 –	Expressões matemáticas analisadas para representar a variação do módulo de resiliência em função do módulo tangente inicial e estado de tensão para os solos desta pesquisa – Análise 2	100
TABELA 4.10 –	Expressões matemáticas analisadas para representar a variação do módulo de resiliência em função do módulo tangente inicial e estado de tensão para os solos argiloso e areno-argiloso	103
TABELA 4.11	Expressões matemáticas analisadas para representar a variação do módulo de resiliência em função do módulo tangente inicial e estado de tensão para os solos arenoso e areno-argiloso	105
TABELA 4.12	Granulometria dos solos da pesquisa de CUNTO (1998)	107
TABELA 4.13	Características e classificação dos três solos da pesquisa de CUNTO (1998)	108
TABELA 4.14	Granulometria dos solos da pesquisa de CARMO (1998)	108

---

TABELA 4.15	Características e classificação dos solos da pesquisa de CARMO (1998)	109
TABELA 4.16	Módulo tangente inicial dos materiais utilizados nas pesquisas de CUNTO (1998) e CARMO (1998)	109
TABELA 4.17	Parâmetros de regressão do modelo da equação 4.5 aplicado aos solos de CUNTO (1998) e CARMO (1998)	110
TABELA 4.18	Expressões matemáticas analisadas para representar a variação do módulo de resiliência em função do módulo tangente inicial e estado de tensão englobando solos desta e de outras pesquisa	111
TABELA 4.19	Expressões matemáticas analisadas para representar a variação do módulo de resiliência em função do módulo tangente inicial e estado de tensão englobando os solos de predominância argilosa desta e de outras pesquisa.	113
TABELA 4.20	Expressões matemáticas analisadas para representar a variação do módulo de resiliência em função do módulo tangente inicial e estado de tensão englobando solos de predominância arenosa desta e de outras pesquisa	115

---

**LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

---

AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CBR	Índice Suporte Califórnia
COPPE	Coordenação dos Programas de Pós-Graduação em Engenharia
DER	Departamento de Estradas de Rodagem
DER-SP	Departamento de Estradas de Rodagem de São Paulo
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
EESC	Escola de Engenharia de São Carlos
EUA	Estados Unidos da América
HRB	Highway Research Board
LVDT's	Linear Variable Differential Transformer
MCT	Miniatura Compactada Tropical
MS	Mato Grosso do Sul
MTS	Material Testing System
NBR	Norma Brasileira Registrada
USCS	Unified Soil Classification System
USP	Universidade de São Paulo

---

**LISTA DE SÍMBOLOS**


---

a	Parâmetro de regressão dependente do nível de tensão
ARG	Percentual de argila
B	Parâmetro de regressão
c	Contração (%)
C	Coesão
c.p	Corpo-de-prova.
$D_m$	Grau de umidade (%)
DV	Variável do tipo de material
E	Módulo de elasticidade
$E_o$	Módulo tangente inicial
e.qs	Equações
e	Expansão
$F_1$	Função do fator de correção do teor de umidade
$F_2$	Função do fator de correção da porcentagem da densidade seca com relação à densidade seca máxima
$F_3$	Função do fator de correção do índice de plasticidade
$F_4$	Função do fator de correção da idade da amostra
$F_5$	Função do fator de correção da tensão confinante
$F_6$	Função do fator de correção da tensão desvio
GC	Grau de compactação
$h_o$	Comprimento inicial de referência do corpo-de-prova cilíndrico
IP	Índice de plasticidade (%)
$k_1, k_2, k_3$ e $k_4$	Parâmetros de regressão
LA	Solo arenoso laterítico
LA'	Solo arenoso fino laterítico
LG'	Solo argiloso laterítico
LL	Limite de Liquidez (%)
$M_R$	Módulo de resiliência
$M_{R,S}(30)$	Módulo de resiliência após trinta minutos de carga
$M_{R,S}(5)$	Módulo de resiliência após cinco minutos de carga
NA	Solo arenoso não laterítico
NA'	Solo arenoso fino não-laterítico
NG'	Solo argiloso não laterítico
NS'	Solo siltoso não laterítico
Pa	Pressão atmosférica
$P_{cíclica}$	Carga cíclica, norma AASHTO TP46/94
$P_{contato}$	Carga contato, norma AASHTO TP46/94
$P_{máxima}$	Carga máxima, norma AASHTO TP46/94
RCS	Resistência à compressão simples
rw	Razão entre w e $w_o$ (%)
S	Grau de saturação (%)

---

$S_{40}$	Percentual de material passado na peneira 40
$S_{60}$	Percentual de material passado na peneira 60
SLT	Percentual de silte
$S_{u1,0\%}$	Tensão axial correspondente à 1% de deformação axial
w	Umidade (%)
$w_o$	Umidade ótima (%)
$\Delta h$	Deslocamentos recuperáveis do corpo-de-prova cilíndrico
$\varepsilon$	Tensão resiliente axial variando à 1% de deformação axial
$\varepsilon_a$	Deformação axial
$\varepsilon_R$	Deformação resiliente
$\phi$	Ângulo de atrito interno
$\theta$	Primeiro invariante de tensão
$\rho_d$	Massa específica aparente seca
$\rho_{dmax}$	Massa específica aparente seca máxima
$\sigma_a$	Tensão axial
$\sigma_d$	Tensão desvio
$\sigma_1$	Tensão principal maior
$\sigma_3$	Tensão de confinamento
$\sigma_{oct}$	Tensão normal octaédrica
$\tau_{oct}$	Tensão de cisalhamento octaédrica
$\gamma_d$	Peso específico seco
%#200	Percentual de material passante na peneira 200
$\mu$	Coefficiente de Poisson



## RESUMO

---

SANTOS, A. G. (2003). *Estudo do comportamento resiliente de três solos da região de Campo Grande-MS e análise de relações entre o módulo de resiliência e o módulo tangente inicial determinado em ensaios de compressão simples*. São Carlos, 2003. 146p. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo.

O conhecimento do módulo de resiliência ( $M_R$ ) é fundamental ao se projetar um pavimento, pois ele é necessário para o cálculo de tensões, deformações e deflexões nas suas camadas e subleito, bem como, a análise do desempenho do sistema. Embora ensaios de campo possam ser empregados para se determinar o  $M_R$ , a grande maioria das pesquisas nesse sentido são desenvolvidas em laboratório, onde é possível um maior controle das condições da amostra, da aplicação de carregamento e medida dos deslocamentos. Porém, pela complexidade e alto custo dos ensaios de laboratório, há a necessidade de pesquisas que disponibilizem expressões que permitam estimar o  $M_R$  a partir de resultados de ensaios mais simples que o triaxial cíclico e usuais na pavimentação. Nesta pesquisa, foram realizados ensaios triaxiais cíclicos para a determinação do  $M_R$  de três solos empregados em rodovias de Campo Grande – MS. A partir dos resultados dos ensaios triaxiais cíclicos, verificou-se o desempenho dos modelos mais comumente empregados para se representar a variação do módulo de resiliência em função do estado de tensão. Foram propostas e analisadas expressões matemáticas entre o  $M_R$  obtido a partir dos ensaios triaxiais cíclicos e o módulo tangente inicial proveniente de ensaios de compressão simples, sob diversos níveis de tensão. Finalmente, analisou-se a existência de relações que englobem, além dos solos estudados nesta pesquisa, os solos estudados anteriormente em outras pesquisas desenvolvidas na EESC-USP. Os resultados mostram que este tipo de associação é promissora, mas exige-se que o universo de solos estudados seja ampliado para que se estabeleça uma inferência decisiva.

Palavras-chave: módulo de resiliência, ensaio triaxial cíclico, ensaio de compressão simples, módulo tangente inicial, pavimentação.

## ABSTRACT

---

SANTOS, A. G. (2003). *Study of the resilient behavior of three soils from Campo Grande-MS and analysis of the equations among resilient modulus and initial tangent modulus from compressive strength tests*. São Carlos, 2003. 146p. Master's thesis. Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo.

The resilient modulus knowledge ( $M_R$ ) is fundamental for pavement design, once it is necessary for stresses, strains and deflections calculus in its layers and subgrade, as well as, the analysis of system performance. Although field tests may be used to determine the dynamic behavior of soils, most of researchers favor laboratory tests, based on the fact that such tests are less constrained because of their carefully controlled conditions. Because laboratory procedures are considered complex and highly expensive, it is desirable to establish relationships among  $M_R$  and other index properties that are relatively simple and usual in pavement construction. In this research, cyclic triaxial tests were performed to determine  $M_R$  of three soils used in Campo Grande-MS roads'. The performance of the models most commonly adopted to represent resilient modulus as a function of state of stress were verified. A mathematical expression among  $M_R$ , obtained from the cyclic triaxial tests, and the initial tangent modulus, obtained from unconfined compression strength tests, were developed considering different states of stress. Finally, were analyzed the existence of relationships among soils studied in this research, and soils used in previous studies developed at EESC-USP. Results show that this type of empirical correlation presents a satisfactory results, however incisive conclusions cannot be taken without a large number and variety of soils.

Keywords: Resilient modulus, Repeated load triaxial test, Compressive strength test, Initial tangent modulus and Pavement.