

Artigo REF: 26A018

## **COMPORTAMENTO MECÂNICO DE MATERIAIS BRITADOS NÃO LIGADOS USADOS NOS PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS PORTUGUESES: DEFINIÇÃO DE MODELOS**

**Rosa C. Luzia<sup>1(\*)</sup>, Luís de Picado Santos<sup>2</sup> e Dinis C. Gardete<sup>1</sup>**<sup>1</sup>Instituto Politécnico de Castelo Branco, Escola Superior de Tecnologia, DEC - Castelo Branco, Portugal<sup>2</sup>Universidade de Coimbra, Faculdade de Ciências e Tecnologia, DEC, Coimbra - Portugal

(\*)Email: rluzia@est.ipcb.pt

### **RESUMO**

*Os pavimentos rodoviários em Portugal continuam a ser construídos, quase exclusivamente, recorrendo a agregados naturais, de um modo geral agregados britados tendo, assim, os materiais britados de granulometria extensa uma grande aplicação nas camadas granulares não ligadas, nomeadamente em sub-base e base granulares.*

*O comportamento destes materiais naquele tipo de camadas não se encontra ainda suficientemente caracterizado, sobretudo por razões que se prendem com a heterogeneidade dos maciços donde são provenientes.*

*Na tentativa de contribuir para o melhor conhecimento desse comportamento desenvolveu-se um trabalho cujo objectivo principal foi a caracterização mecânica e a elaboração de modelos típicos de comportamento para materiais britados de diferentes litologias, passíveis de serem utilizados em sub-base e base não ligadas de pavimentos rodoviários.*

### **INTRODUÇÃO**

Nesta comunicação analisa-se o comportamento de dois materiais de granulometria extensa, de origem calcária e granítica, respectivamente, utilizados em sub-base granular não tratada de pavimentos rodoviários em Portugal.

Fez-se a sua caracterização geotécnica através de ensaios como o azul de metileno e o micro-Deval bem como a caracterização do seu comportamento mecânico recorrendo a ensaios triaxiais cíclicos, realizados segundo a norma AASHTO TP 46 (AASHTO, 1994). O objectivo foi, no âmbito de uma tese de doutoramento, contribuir para a modelação do comportamento deste tipo de materiais quando colocados em camadas de pavimentos rodoviários.

### **MATERIAIS UTILIZADOS**

No trabalho desenvolvido foi utilizado agregado britado de granulometria extensa de duas origens litológicas: calcário e granito. Assim, foram ensaiadas três amostras de material granítico, Figura 1a, sendo que duas foram recolhidas numa pedreira próximo de Celorico da Beira e uma na zona de Braga, interior centro e norte de Portugal e cinco amostras de material calcário, Figura 1b, proveniente de uma pedreira na zona de Pombal, centro de Portugal.



a)



b)

Figura 1- Material britado de granulometria extensa caracterizado. a) granito, b) calcário

Qualquer dos materiais foi utilizado em camada de sub-base, em obras em construção à altura de desenvolvimento do trabalho. O material calcário foi utilizado no troço Castelo Branco Sul - Fratel, da A23, na zona de Castelo Branco e o material granítico foi utilizado em obras, que não irão ser identificadas, devido a compromissos assumidos com os respectivos promotores, construídas ou em construção nas zonas onde as amostras foram recolhidas.

## CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA

Sobre as amostras recolhidas foram realizados um conjunto de ensaios de laboratório com vista à avaliação das suas características geotécnicas, entre eles: o *Los Angeles* (LNEC, 1970) e o micro-Deval (IPQ, 2002), o equivalente de areia (LNEC, 1967b) e o azul de metileno (AFNOR, 1990) ou o *california bearing ratio* (CBR) (LNEC, 1967a).

Devido às características granulométricas do material, não foi possível fazer compactação Proctor (LNEC, 1966), tendo a mesma sido realizada por vibro-compressão, segundo a norma BS 1377: parte 4 (BSI, 1990), preparando provetes com diâmetro de 150 mm e altura a variar entre 127 mm e 133 mm, realizando a compactação em 3 camadas durante 60 segundos cada. O equipamento utilizado foi um martelo vibro-compressor com as seguintes características: Frequência de percussão: 2750 impactos por minuto; Potência absorvida: 750 W; Diâmetro da placa de base: 147 mm. Os valores médios dos resultados dos ensaios realizados são os apresentados na Figura 2 e no Quadro 1.

## CARACTERIZAÇÃO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO

### Em laboratório

Na caracterização do comportamento mecânico dos materiais em laboratório foram realizados ensaios triaxiais cíclicos de acordo com a norma AASHTO TP 46 (AASHTO, 1994) tendo os ensaiados sido realizados sobre provetes com diâmetro de 150 mm e altura de 2 vezes aquele, ou seja, 300 mm.

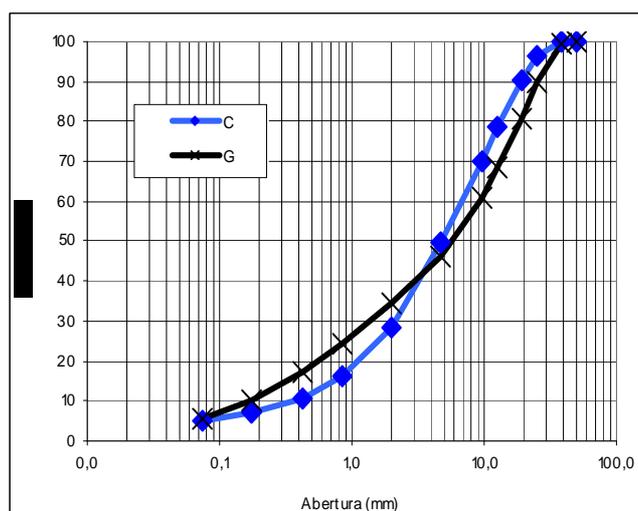


Figura 2- Curvas granulométricas dos dois tipos de material (LNEC, 1969)

Quadro 1- Resultados dos ensaios de caracterização

Parâmetro	Unidade	Valor médio	
		Calcário	Granito
Teor em água ótimo	%	3,6	3,5
Baridade seca máxima	g/cm <sup>3</sup>	2,29	2,17
CBR		99	84
Expansibilidade		0	0
Los Angeles	%	33	37
Micro-Deval húmido		14	21
Micro-Deval seco		6	7
Equivalente de areia		70	61
Azul de Metileno (0/0,075 mm)	g/100g	0,88	1,55
Azul de Metileno (0/38,1 mm)		0,05	0,07

Os provetes, Figura 3, foram compactados por vibro-compressão, em 6 camadas com espessura aproximada de 50 mm, em molde bipartido, tendo a compactação tido a duração necessária para se obter essa espessura de forma a atingir a baridade seca pretendida. O equipamento utilizado na compactação foi o martelo vibro-compressor referido na secção correspondente à caracterização geotécnica e que cumpre as especificações necessárias exigidas na norma usada como referência.

Por cada uma das oito amostras foram realizados 2 ensaios correspondentes aos dois tipos de condições de compactação referidas na norma AASHTO TP 46 (AASHTO, 1994), os valores obtidos na compactação em laboratório, teor em água ótimo e 95% da baridade seca máxima, ou os valores obtidos no controlo da compactação *in situ*, devendo ser utilizados estes valores sempre que sejam conhecidos.

O ensaio triaxial cíclico, segundo a norma AASHTO TP 46 (AASHTO, 1994), consiste na aplicação de 16 sequências de carga ao provete, nas quais variam quer a tensão de confinamento quer a tensão deviatória. O número de ciclos de carga - descarga aplicado é de 1000 para a primeira sequência, correspondente ao condicionamento do provete, e de 100 nas 15 restantes.



Figura 3- Provete de calcário antes de ser submetido a um ensaio triaxial cíclico

O carregamento é do tipo sinusoidal com repouso, correspondendo a fase de carga a 0,1 segundo e a fase de repouso a 0,9 segundo, Figura 4.

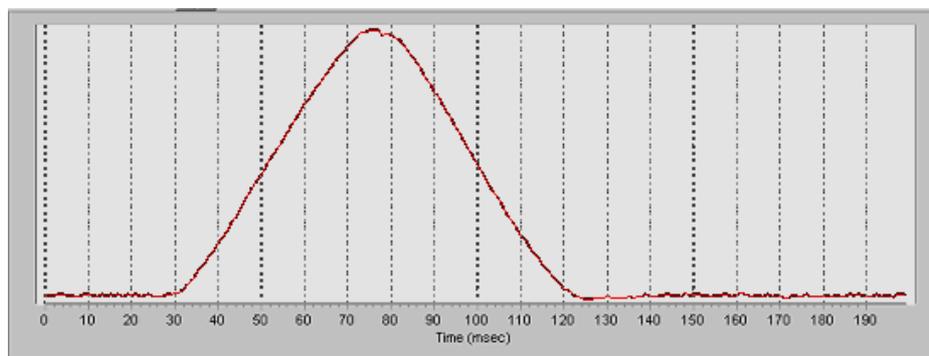


Figura 4- Curva sinusoidal correspondente a um ciclo de carga – descarga no ensaio triaxial cíclico

Do ensaio obtém-se o Módulo Resiliente, do modo apresentado na equação (1), correspondente a cada uma das 16 sequências, sendo aquele valor a média do módulo resiliente encontrado para os 5 últimos ciclos das mesmas.

$$M_r = \frac{\sigma_{cíclica}}{\epsilon_r} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{\epsilon_r} \text{ MPa} \quad (1)$$

onde:  $\sigma_{cíclica}$  = tensão axial cíclica ( $\sigma_{máx} - \sigma_{contacto}$ );  $\sigma_1 - \sigma_3$  = tensão de cisalhamento ;  
 $\epsilon_r$  = deformação axial resiliente (recuperada)

Nos ensaios realizados foram utilizadas as condições de teor em água e baridade seca apresentados no Quadro 2 e as de carregamento apresentadas no Quadro 3.

Quadro 2- Valores médios de teor em água e baridade seca nos ensaios triaxiais

Material	Valores médios			
	Condições de Laboratório		Condições <i>in situ</i>	
	Teor em água (%)	Baridade seca (kN/m <sup>3</sup> )	Teor em água (%)	Baridade seca (kN/m <sup>3</sup> )
Calcário	3,6	21,7	3,5	22,7
Granito	4,3	21,7	4,2	22,1

No quadro 3 apresentam-se também os valores médios do módulo resiliente obtidos para cada uma das 16 seqüências de ensaio para as condições indicadas.

Da análise quadro 3 conclui-se que os granitos apresentam valores de módulo resiliente mais baixos, qualquer que seja o estado de tensão considerado. No entanto, para qualquer dos materiais o módulo resiliente apresenta uma variação esperada, sendo, geralmente, maior para tensões de confinamento maiores e apresentando uma evolução positiva para tensões deviatórias ( $\sigma_{cíclica}$ ) crescentes, no que respeita à gama usada no ensaio.

Quadro 3- Condições de carregamento dos ensaios triaxiais cíclicos e valores médios de módulo resiliente para os materiais ensaiados

Seq.	Materiais a utilizar em sub-base ou base				n° de cíclicos	Módulo resiliente			
	$\sigma_3$	$\sigma_{max}$	$\sigma_{cíclica}$	$\sigma_{contacto}$		Calcário		Granito	
						C. Lab.	C. <i>in situ</i>	C. Lab.	C. <i>in situ</i>
						(kPa)			
0	103,4	103,4	93,1	10,3	1000	-	-	-	-
1	20,7	20,7	18,6	2,1	100	163	164	88	80
2	20,7	41,4	37,3	4,1	100	201	196	102	91
3	20,7	62,1	55,9	6,2	100	214	222	112	102
4	34,5	34,5	31,0	3,5	100	207	221	116	103
5	34,5	68,9	62,0	6,9	100	240	273	136	122
6	34,5	103,4	93,1	10,3	100	259	301	153	138
7	68,9	68,9	62,0	6,9	100	293	339	187	164
8	68,9	137,9	124,1	13,8	100	331	414	212	194
9	68,9	206,8	186,1	20,7	100	352	450	228	212
10	103,4	68,9	62,0	6,9	100	318	381	217	186
11	103,4	103,4	93,1	10,3	100	341	425	231	210
12	103,4	206,8	186,1	20,7	100	392	514	269	245
13	137,9	103,4	93,1	10,3	100	376	479	265	236
14	137,9	137,9	124,1	13,8	100	394	498	284	250
15	137,9	275,8	248,2	27,6	100	453	612	317	294

Tendo em conta a influência do estado de tensão no comportamento mecânico dos materiais granulares, tentou modelar-se esse mesmo comportamento recorrendo a diferentes modelos e verificar quais os que melhor traduziam o comportamento deste tipo de materiais portugueses.

Foram utilizados cinco modelos de comportamento, equações (2) a (6), os quais foram sendo desenvolvidos por diferentes autores (Lekarp, 2000).

$$Mr = k_1 \sigma_3^{k_2} \quad (2)$$

$$Mr = k_3 \theta^{k_4} \quad (3)$$

$$Mr = k_5 \sigma_d^{k_6} \quad (4)$$

$$Mr = k_7 \theta^{k_8} q^{k_9} \quad (5)$$

$$Mr = k_{10} q^{k_{11}} \sigma_3^{k_{12}} \quad (6)$$

onde:

$M_r$  - módulo reversível;  $\sigma_3$  - tensão de confinamento;  $\theta$  - primeiro invariante do tensor das tensões;  $\sigma_d = q = \sigma_1 - \sigma_3$  - tensão deviatória;  $k_1$  a  $k_{12}$  - constantes

Os modelos e respectivos coeficientes de determinação encontrados para os materiais em estudo são os apresentados no Quadro 4.

Quadro 4- Modelos de comportamento encontrados para os materiais em estudo

Cond. Lab.	$r^2$	Cond. <i>in situ</i>	$r^2$
<b>Calcário</b>			
$Mr = 880,91 \sigma_3^{0,3916}$	0,8914	$Mr = 1488,00 \sigma_3^{0,5195}$	0,8898
$Mr = 522,13 \theta^{0,4388}$	0,8914	$Mr = 744,47 \theta^{0,5832}$	0,9857
$Mr = 771,22 \sigma_d^{0,3854}$	0,8347	$Mr = 1256,10 \sigma_d^{0,5140}$	0,8423
$Mr = 583,98 \theta^{0,3672} q^{0,0821}$	0,9963	$Mr = 883,67 \theta^{0,4647} q^{0,1301}$	0,9981
$Mr = 973,52 q^{0,1930} \sigma_3^{0,2543}$	0,9973	$Mr = 1681,55 q^{0,2696} \sigma_3^{0,3215}$	0,9988
<b>Granito</b>			
$Mr = 863,241 \sigma_3^{0,5521}$	0,9401	$Mr = 770,65 \sigma_3^{0,5495}$	0,9213
$Mr = 406,38 \theta^{0,6067}$	0,9981	$Mr = 366,57 \theta^{0,6088}$	0,9945
$Mr = 654,05 \sigma_d^{0,5078}$	0,7691	$Mr = 607,53 \sigma_d^{0,5204}$	0,7995
$Mr = 417,43 \theta^{0,5902} q^{0,0193}$	0,9982	$Mr = 408,43 \theta^{0,5482} q^{0,0753}$	0,9982
$Mr = 945,90 q^{0,1954} \sigma_3^{0,4093}$	0,9986	$Mr = 872,65 q^{0,2388} \sigma_3^{0,3798}$	0,9990

Analisando os modelos de comportamento, verifica-se que para o modelo correspondente à equação (4) os valores de  $r^2$  obtidos são os mais baixos dos 5 modelos analisados. Verifica-se, por outro lado, que as melhores correlações, valores de  $r^2$  mais elevados, ocorrem quando se faz depender o módulo resiliente do primeiro invariante do tensor das tensões,  $\theta$ , e da tensão deviatória,  $q$ , ou da tensão deviatória,  $q$ , e da tensão de confinamento,  $\sigma_3$ , ou seja, para os modelos correspondentes às equações (5) e (6).

No que diz respeito à extensão vertical ou deformação permanente no ensaio, obtida a partir do conjunto dos 2500 ciclos de carga - descarga do ensaio, obtiveram-se para o calcário

valores a variar de 0,4 % a 1,4 % e para o granito a variar de 1,2 % a 2,4 %, ou seja, valores abaixo dos 5% referidos na norma AASHTO TP 46 (AASHTO, 1994).

### ***In situ***

Com vista à caracterização mecânica *in situ* dos materiais foi realizado o ensaio de carga com o deflectómetro de impacto, tendo sido utilizado o equipamento, Dynatest 8000, com 9 geofones, o primeiro localizado no centro da placa e os restantes 8 às distâncias de 300 mm, 450 mm, 600 mm, 900 mm, 1200 mm, 1500 mm, 1800 mm e 2100 mm, respectivamente, do Laboratório de Mecânica de Pavimentos do DEC da FCT da Universidade de Coimbra e do DEC da Universidade do Minho, Figura 5.



Figura 5- Deflectómetro de Impacto das Universidades de Coimbra e do Minho

Foram realizados ensaios de carga com o deflectómetro de impacto nos dois tipos de material referidos, em qualquer dos casos sobre as camadas betuminosas, pelo que se procedeu à medição da temperatura das mesmas a diferentes profundidades.

Os ensaios foram realizados a espaços de 100 m, com placa de 30 cm de diâmetro, e em cada ponto ensaiado foram aplicadas três alturas de queda correspondentes a diferentes cargas de pico (Dynatest International, 2001). As estruturas de pavimento flexível sobre as quais se realizaram os ensaios são as apresentadas no Quadro 5 e as temperaturas médias das misturas betuminosas aquando da realização dos ensaios de carga com deflectómetro de impacto, para qualquer dos casos, as que se apresentam no Quadro 6.

Quadro 5- Estruturas de pavimento

Material	Espessura (cm)	
	Calcário	Granito
Camadas Misturas Betuminosas	22,0	11,2
Sub-base granular	30,0	30,0
Leito do pavimento	15,0	25,0

Quadro 6- Temperaturas médias das misturas betuminosas

Profundidade (cm)	Temperatura (°C)	
	Calcário	Granito
0	46,0	36,5
5	47,9	-
6	-	34,0
10	44,3	-
20	37,9	-

As características de compactação dos materiais das camadas granulares, obtidas pelo controlo da compactação aquando da construção, eram as apresentadas no Quadro 7.

Quadro 7- Características de compactação apresentadas pela sub-base granular

Material	$w_{méd}$ (%)	$\gamma_d$ in situ (g/cm <sup>3</sup> )	GC (%)
Calcário	3,5	2,27	99,7
Granito	4,2	2,21	97,0

A partir das deflexões obtidas no ensaio foram encontrar-se os módulos de deformabilidade, por análise inversa, recorrendo ao programa de cálculo ELSYM 5, para cada uma das camadas. No Quadro 8, apresentam-se os módulos de deformabilidade obtidos para o percentil 85%. Para o calcário foi utilizada a altura de queda 2 e para o granito a altura de queda 1, devido à espessura das camadas betuminosas na estrutura respectiva.

Quadro 8- Módulos de deformabilidade obtidos após tratamento dos resultados do FWD

Módulo (MPa)	Percentil 85%	
	Calcário	Granito
E1	1500	1350
E2	572	245
E3	220	90
E4	100	40

Analisando as condições de ensaio, nomeadamente temperatura, e os resultados obtidos por análise inversa, recorrendo ao programa de cálculo ELSYM 5, pode dizer-se que os módulos de deformabilidade obtidos nos dois pavimentos, em que se usou o calcário e em que se usou o granito como sub-base, quer para as misturas betuminosas quer para os agregados, se encontram dentro dos valores expectáveis.

Comparando os resultados das duas obras, verifica-se que para os calcários se obtiveram valores de módulo de deformabilidade mais elevados que para o granito.

## APRECIÇÃO DOS RESULTADOS DO COMPORTAMENTO MECÂNICO

Na sequência da modelação do comportamento mecânico a partir dos resultados dos ensaios triaxiais cíclicos foi encontrada, para cada um dos modelos, a amostra para a qual a simulação era de melhor qualidade, ou seja, para a qual se obteve o coeficiente de determinação mais próximo de 1.

De entre os modelos correspondentes à melhor simulação, escolheu-se o mais conservador, isto é, aquele para o qual se obtiveram os menores valores de módulo resiliente, tendo sido obtido o modelo da equação (7).

$$M_r = 877,37q^{0,2384}\sigma_3^{0,3828} \quad (7)$$

Após isto e com o objectivo de confirmar os valores de módulo resiliente obtidos nos ensaios realizados sobre os materiais em estudo, foi feita a análise estrutural de um pavimento tipo, com a estrutura indicada na Figura 6. Esta estrutura foi modelada recorrendo a um comportamento linear - elástico para os materiais.

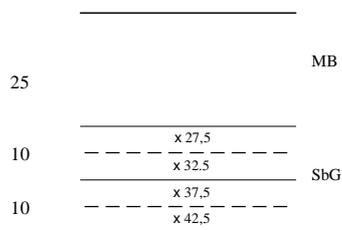


Figura 6- Estrutura de pavimento tipo

O estudo consistiu em determinar o estado de tensão a meio da camada granular utilizando os programas Elsym 5 e Bisar, e determinar o módulo das camadas granulares recorrendo ao modelo encontrado, até que o estado de tensão calculado induzisse um módulo resiliente nas camadas granulares compatível com o dado pelo modelo. Isto feito, evidentemente, de forma iterativa.

Foram utilizados como valores de partida os módulos de 4000 MPa, 151 MPa, 95 MPa e 60 MPa, para as misturas betuminosas, camadas granulares, superior e inferior, e fundação, respectivamente. Os módulos resilientes obtidos, para o caso do Elsym 5, variam entre 38 MPa e 50 MPa, ou seja, são cerca de 3 vezes inferiores aqueles de que se partiu. Por esta razão, foram feitas iterações até o valor encontrado ser o mais próximo possível daquele de que se partiu. O processo foi dado por concluído depois do valor do módulo nas camadas granulares calculado pelo modelo da equação (7), a partir do estado de tensão proveniente da análise, ser semelhante ao que originou em cada camada este estado de tensão. O valor de módulo resiliente encontrado ronda os 40 MPa, valor 3 a 4 vezes inferior aos geralmente considerados no dimensionamento de pavimentos e, de resto, encontrados com a realização dos ensaios triaxiais cíclicos.

Uma outra análise foi realizada com os módulos de deformabilidade obtidos por análise inversa dos resultados dos ensaios realizados *in situ* com o deflectómetro de impacto, tendo-se chegado a valores próximos dos que se tinham encontrado utilizando os resultados dos

ensaios triaxiais cíclicos, portanto parecendo haver *in situ* um estado de tensão semelhante ao simulado nos ensaios triaxiais cíclicos.

Para a estrutura do pavimento apresentada para os materiais calcários, partiu-se dos valores dos módulos de deformabilidade encontrados para as diferentes camadas, 1500 MPa para as misturas betuminosas, 572 MPa para a base granular, 220 MPa para a sub-base granular e 100 MPa para o material de fundação, e obtiveram-se do mesmo modo, na primeira iteração, valores muito inferiores aos de partida.

Por iteração chegou-se à melhor aproximação entre os valores de partida e os valores finais, obtendo 72 MPa e 59 MPa, respectivamente, para 37 cm e 59,5 cm de profundidade. Como se pode verificar, também neste caso os módulos de deformabilidade obtidos são muito inferiores aos valores de que se partiu.

A explicação mais plausível para os maiores valores de módulo encontrados nos ensaios *in situ*, quando comparados com os obtidos na análise estrutural, relaciona-se com fenómenos de sucção que se desenvolvem nos materiais granulares quando colocados em camadas granulares de pavimentos, mediante determinadas condições de temperatura ambiente e teor em água da camada. De facto, pode desenvolver-se um maior confinamento que conduzirá a uma reacção mais rígida para o estado de tensão aplicado a partir do deflectómetro de impacto, o que conduz a maiores módulos.

Também os maiores valores de módulo encontrados no caso dos ensaios triaxiais cíclicos prendem-se com as tensões aplicadas durante o ensaio, especialmente a tensão de confinamento,  $\sigma_3$ , que é bastante maior do que aquela que é simulada pela análise estrutural baseada na teoria de Burmister.

## CONCLUSÕES

Analisando os resultados do comportamento mecânico verifica-se que, para valores de teor em água óptimo e 95% da baridade seca máxima, que o módulo resiliente varia, função das condições de carregamento, entre, aproximadamente, 160 MPa e 450 MPa, para o calcário e entre cerca de 100 e 300 MPa para os granitos. Para as condições de compactação *in situ* obtiveram-se valores da mesma ordem de grandeza para os granitos mas mais elevados para o calcário da A23, apresentando valores entre 160 MPa e 600 MPa.

Verifica-se, por outro lado, e no que respeita à deformação permanente obtida para as condições de ensaio usadas, que esta é, de um modo geral, pouco significativa no decorrer do ensaio, atingido valores máximos de cerca de 1,4% para os calcários e de 2,4% para os granitos.

Da modelação do comportamento mecânico foi concluído que o modelo que melhor simula o comportamento dos materiais em estudo, embora sendo também o mais conservador, é o modelo de Pezo, apresentado na equação (7).

Da caracterização mecânica *in situ* obtiveram-se módulos de deformabilidade para a camada de sub - base granular e para as estruturas de pavimento e condições, de compactação e de temperatura, apresentadas, de cerca de 570 MPa para o calcário e cerca de 250 MPa para o granito.

Da análise estrutural realizada pode concluir-se que para estruturas de pavimento flexível típicas da tecnologia portuguesa, compostas por camadas sobrepostas, semi - infinitas e com um comportamento mecânico linear - elástico, o estado de tensão que se consegue simular nas

camadas granulares é muito diferente, por defeito, daquele que se usa para obter os módulos resilientes de materiais idênticos em ensaios triaxiais cíclicos realizados com a norma AASHTO TP - 46 (AASHTO, 1994).

Do mesmo modo, analisando os módulos resilientes obtidos a partir de ensaios de carga com o deflectómetro de impacto, verifica-se que os módulos resilientes que daí decorrem são bastante superiores aos obtidos com a análise do estado de tensão, da ordem de grandeza dos obtidos nos ensaios triaxiais cíclicos, e também da mesma ordem de grandeza dos geralmente usados na prática de dimensionamento de pavimentos flexíveis.

Do que ficou dito na comunicação parece poder concluir-se que o tipo de estado de tensão usado pela AASHTO TP - 46 (AASHTO, 1994) não simula o tráfego sobre um pavimento tão bem como é geralmente admitido, já que os valores de módulo resiliente que se obtêm a partir daí são, em geral, mais elevados do que os que se verificam no pavimento a menos de fenómenos que alterem o estado de tensão em repouso.

No mesmo sentido, os resultados do ensaio *in situ* mais frequentemente utilizado para a caracterização mecânica dos materiais granulares, ensaio de carga com o deflectómetro de impacto, são muito influenciados pelo estado de tensão *in situ* (em repouso), o que não se consegue simular.

### **Agradecimentos**

A investigação que deu origem a esta comunicação foi desenvolvida com o apoio do Programa para o Desenvolvimento Educativo em Portugal (PRODEP III), Medida 5 - Acção 5.3 - Formação Avançada de Docentes do Ensino Superior, através da bolsa atribuída à autora, o qual desde já se agradece.

Gostaria ainda de agradecer-se à SCUTVIAS, Auto-estradas da Beira Interior pela disponibilidade para colaborar no desenvolvimento deste trabalho, através da disponibilização de dados relativos ao troço Castelo Branco Sul - Fratel, da Auto-estrada A23.

### **REFERÊNCIAS**

AASHTO, Standard test method for determining the resilient modulus of soils and aggregate materials, AASHTO TP 46 standard, USA 1994.

AFNOR, Granulats. Essai au Bleu de Méthylène. Méthode à la Tache. NF P 18-592, Association Française de Normalisation, France 1990.

BSI, Soils for civil engineering purposes. Part 4: Compaction-related tests. BS 1377: part 4, British standard institution, England 1990.

Dynatest International, Dynatest 8000 FWD Test System. Owners Manual, version 1.7.0. Denmark 2001.

IPQ, Ensaios das propriedades mecânicas dos agregados. Parte 1: Determinação da resistência ao desgaste (micro-Deval), NP EN 1097-1, 2ª ed., Instituto Português da Qualidade, Lisboa 2002.

Lekarp, F.; Isacsson, U.; Dawson, A., State of the art I: Resilient response of unbound aggregates, Journal of Transportation Engineering, ASCE, January-February 2000, 66-75.

LNEC, Agregados. Análise Granulométrica. E 233 Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa 1969.

LNEC, Ensaio de Desgaste pela Máquina de Los Angeles. E 237, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa 1970.

LNEC, Solos. Determinação do CBR. E 198, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa 1967a.

LNEC, Solos. Ensaio de Compactação. E 197, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa 1966.

LNEC, Solos. Ensaio de Equivalente de Areia. E 199, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa 1967b.