



ESTIMATIVA DE DEFORMAÇÕES PERMANENTES EM CAMADAS GRANULARES DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS

Rodrigo Malysz

Mestrando PPGEC/UFRGS

Washington Peres Núñez

Professor PPGEC/UFRGS

Wai Ying Yuk Gehling

Professora PPGEC/UFRGS

Jorge Augusto Pereira Ceratti

Professor PPGEC/UFRGS

RESUMO

O crescimento do transporte rodoviário de cargas e o surgimento de veículos cada vez mais pesados impõem aos pavimentos solicitações de magnitudes excepcionais. Tais solicitações, aceleram a degradação, especialmente em pavimentos delgados, podendo ter significativa importância em pavimentos de espessura média. Nessas circunstâncias o excesso de deformações permanentes em camadas granulares pode ser o principal tipo de ruptura. Assim, torna-se evidente a necessidade de estimar-se o desempenho dos materiais utilizados em pavimentação quanto ao acúmulo dessas deformações. Tal estimativa pode ser feita a partir de ensaios triaxiais de carregamento repetido e triaxiais convencionais. A utilização de materiais com granulometria uniforme, como camadas estruturais drenantes, claramente requer este tipo de análise, uma vez que não se enquadra nas especificações tradicionais. Embasada no panorama descrito, a dissertação a ser desenvolvida tem o objetivo de propor modelos de previsão para o acúmulo de deformações permanentes em britas de basalto bem graduadas e de granulometria uniforme. Ainda, visa analisar o comportamento tensão deformação, resistência ao cisalhamento e o efeito do grau de compactação nesses parâmetros. Complementarmente serão analisados afundamentos de trilhas de roda ocorridos em pistas experimentais solicitadas por um simulador de tráfego nos anos de 1998 e 1999.

ABSTRACT

As a result of traffic growth, commercial vehicles become heavier and axle loads of unusual magnitudes are applied to pavements. High stress levels accelerate pavements degradation, specially affecting thin structures, where rutting of granular layers may be the main cause of failure. This evidences the necessity of estimating the permanent strain behavior of unbound aggregates used in bases and sub-bases. Such a study implies testing materials in triaxial chambers where static or repeated loads are applied to confined specimens. Unconventional uniformly graded aggregates used in drainage layers also require this kind of analysis. In this context, this MSc thesis will analyze the stress-strain behavior and the shear strength of densely graded and open graded basalt aggregates and the influence of compaction degree on strain and strength parameters. Complementary, rut depth evolution in test sections loaded by a traffic simulator in 1998-99 will be analyzed.

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, bem como na maioria dos países, o transporte rodoviário de cargas não cessa de crescer a despeito de ocasionais crises econômicas. Veículos cada vez mais pesados impõem aos pavimentos solicitações de magnitudes excepcionais, tornando necessário que se investigue com vigor a adequação dos materiais empregados nos pavimentos.

Universalmente, a maioria das pesquisas têm abordado o comportamento (tanto à fadiga quanto à deformações permanentes) de misturas asfálticas e comportamento elástico de solos e materiais granulares. Pouca atenção tem sido dada às deformações permanentes que ocorrem em materiais granulares usados em bases e sub-bases de pavimentos. Duas causas podem ser apontadas para esta falta de interesse:

- a) em pavimentos com revestimentos asfálticos de espessuras médias e elevadas (acima de 5 cm), tais deformações não são, salvo raras exceções, expressivas.



- b) Os ensaios para a determinação de parâmetros de deformações permanentes exigem equipamentos especiais (cargas repetidas na compressão triaxial) e são demorados.

Contudo, as deformações permanentes, também conhecidas como afundamentos de trilhas de rodas, podem ser o principal modo de ruptura em pavimentos delgados, ou até mesmo em pavimentos de espessura média, submetidos a cargas de eixo muito elevadas. Torna-se, assim, evidente a necessidade de avaliar, inicialmente em laboratório, os fatores determinantes do acúmulo de deformações permanentes em britas e propor modelos que permitam estimar a evolução de tais deformações. Em especial, interessa estimar esse comportamento em britas de granulometria uniforme, empregadas como camadas drenantes.

Estudos recentemente apresentados (Casagrande, 2003) mostram que britas uniformes proporcionam não apenas elevadíssima condutividade hidráulica, como também comportamento elástico que supera o de britas graduadas.

Neste contexto a dissertação que está desenvolvendo o primeiro dos autores, tem como objetivo geral analisar o comportamento tensão-deformação (através de ensaios de compressão triaxial convencionais) e propor modelos de evolução de deformações permanentes (em ensaios triaxiais de cargas repetidas) de britas graduadas e de granulometria uniforme.

São objetivos específicos:

- determinar parâmetros de resistência ao cisalhamento (ângulo de atrito interno, ϕ' e intercepto coesivo, c') para britas graduadas e uniformes;
- analisar o efeito do nível de tensões (confinante e desvio) na resistência ao cisalhamento e na evolução das deformações permanentes;
- avaliar o efeito do grau de compactação no comportamento dessas britas;
- à luz dos estudos laboratoriais, analisar a evolução de ATR em pavimentos delgados que foram solicitados por um simulador de tráfego nos anos de 1998 e 1999.

2 DEFORMAÇÕES PERMANENTES EM MATERIAIS GRANULARES

Um dos principais objetivos do dimensionamento de pavimentos flexíveis é limitar o aparecimento de trilhas de roda na estrutura do pavimento (Lekarp, 1999). Desta forma, é fundamental conhecer-se o comportamento quanto a deformações permanentes dos materiais utilizados. Embora a deformação permanente durante um ciclo de carga seja normalmente apenas uma fração da deformação total produzida, o acúmulo de um grande número destes pequenos incrementos pode levar o pavimento a uma eventual ruptura devido aos excessivos afundamentos de trilhas de roda (Lekarp e Dawson, 1998).

2.1 Ensaios traxiais de carregamentos repetidos

O equipamento triaxial de carregamento repetido para ensaiar materiais granulares é muito usado em diversos países (Lekarp e Isacsson, 2001). Lekarp *et al* (2000) citam como fatores importantes: o nível de tensões aplicadas, a reorientação das tensões principais, o número de ciclos de carga, o teor de umidade (ω) ou o grau de saturação (S_r), a história de tensões, a massa específica aparente seca, a granulometria, o teor de finos e o tipo de agregado como alguns destes fatores.



A resistência a deformações permanentes pode ser apresentada em função da relação entre a tensão cíclica aplicada e a tensão de ruptura no ensaio triaxial convencional (de carregamento estático) ou da relação entre a tensão cíclica aplicada e a tensão confinante.

Niekerk *et al* (2000) realizaram ensaios triaxiais de deformações permanentes em corpos de prova de 30 x 60 cm com um tensões confinantes $\sigma_3 = 12$ kPa e três incrementos de $\sigma_d/\sigma_{1,f}$ e frequência de 5 Hz para os ciclos de carga. Os critérios de ruptura definidos pelos autores foram: 10 % de deformações acumuladas medidas no terço médio do corpo-de-prova ou a aplicação de 10^6 ciclos de carga.

A representação dos resultados dos ensaios triaxiais de deformações permanentes também pode ser feita utilizando-se a relação σ_1/σ_3 , como feito por Werkmeister *et al* (2000). Nota-se que os parâmetros de resistência dos materiais não aparecem na relação, dispensando, portanto, a execução de ensaios triaxiais convencionais. Estes autores utilizaram tensões confinantes de 70, 140, 210, e 280 kPa e uma relação de $\sigma_1/\sigma_3 = 1,0$ até 8,0.

2.2 Ensaios triaxiais convencionais

O comportamento de materiais granulares quanto a deformações permanentes no ensaio triaxial de carregamento repetido pode ser representado a partir da razão entre a tensão vertical cíclica aplicada (σ_1) e a tensão vertical de ruptura obtida no ensaio triaxial convencional ($\sigma_{1,f}$). Autores como Lekarp *et al* (1996), Garg e Thompson (1997), Niekerk *et al* (2000) e Theyse (2000) avaliaram o potencial de utilização desta relação e obtiveram resultados diversos. Alguns ajustes foram representativos e outros não modelaram o comportamento dos materiais.

Parâmetros de resistência ao cisalhamento obtidos por diversos autores em materiais granulares, são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1: Parâmetros de resistência em materiais granulares

Referência	ϕ (°)	c (kPa)
Garg e Thompson (1997)	31 - 51	48 - 124
Lekarp <i>et al</i> (1996)	58 - 67	49 - 145
Niekerk <i>et al</i> (2000)	37 - 44	4 - 142
Theyse (2000)	48 - 55	26 - 121

2.3 Ensaios acelerados de pavimentos

Os ensaios de laboratório podem fornecer informações essenciais sobre o comportamento mecânico dos materiais, mas algumas vezes é necessária uma confirmação dos resultados obtidos em pavimentos reais, submetidos ao tráfego. Para isto são utilizados trechos ou pistas experimentais, em rodovias ou laboratório, solicitados pelo tráfego real, ou simulado.

3 MATERIAIS E METODOS

Visando determinar características de resistência a deformações permanentes de camadas estruturais de granulometria aberta (drenantes), são estudadas três composições granulométricas de britas. Duas delas de granulometria uniforme (com diferentes tamanhos máximos de agregado) e uma brita graduada (curva média da faixa A do DNER). As características de deformabilidade elástica foram estudadas por Casagrande (2003).



Os ensaios de resistência ao cisalhamento foram realizados em corpos de prova de 10 cm de diâmetro, e 20 cm de altura, em uma câmara triaxial convencional, segundo a modalidade de deformações controladas. A taxa de deformações utilizada foi de 0,063 %/s.

Para a execução dos ensaios triaxiais de carregamento repetido, é utilizada a mesma câmara, porém as cargas são aplicadas através de um sistema pneumático de ar comprimido e reguladores de pressão.

As deformações permanentes são registradas por um transdutor de deslocamento resistivo do tipo RDT (*Rectilinear Displacement Transducer*). Esses ensaios são mais facilmente executados do que os de módulo de resiliência, pois do início ao fim é utilizado um único estado de tensões. Em contrapartida podem durar até 10 dias para a aplicação de 10^6 ciclos. Para fins deste estudo define-se como critério de ruptura uma deformação axial igual a 10% da altura do corpo de prova (2 cm), ou, alternativamente, a deformação ocorrida após 10^6 ciclos de carga.

As tensões atuantes em diversas configurações de pavimentos flexíveis foram calculadas com auxílio do software Elsym5, abordando estruturas muito delgadas a espessas. Estes resultados definem os estados de tensões aos quais os corpos de prova são submetidos nos ensaios triaxiais convencionais e de cargas repetidas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Casagrande, F. (2003). *Estudo da Influência do Teor de Finos na Condutividade Hidráulica e Deformabilidade Elástica de Britas*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 145 p.
- Garg, N.; Thompson, M. R. (1997). Triaxial Characterization of Minnesota Road Research Project Granular Materials. *Transportation Research Record* Washington DC. nº 1577 p. 27 a 36.
- Lekarp, F.; Richardson, I. R.; Dawson, A. (1996). Influences on Permanent Deformation Behaviour of Unbound Granular Materials. *Transportation Research Record* nº 1547, p. 68 a 75.
- Lekarp, F.; Dawson, A. (1998) Modeling Permanent Deformation Behaviour of Unbound Granular Materials. *Construction and Building Materials*. vol 12 no 1, p. 9 a 18.
- Lekarp, F. (1999). *Resilient and Permanent Deformation Behaviour of Unbound Aggregates Under Repeated Loading*. Doctoral Thesis. Royal Institute of Technology at Stockholm, Sweden.
- Lekarp, F.; Isacsson, U.; Dawson, A. (2000). State of the Art – II: Permanent Strain Response of Unbound Aggregates. American Society of Civil Engineers (ASCE) *Journal of Transportation Engineering*. vol. 126, p. 76 a 83.
- Lekarp, F.; Isacsson, U. (2001). The Effects of Grading Scale on Repeated Load Triaxial Tests Results. *International Journal of Pavement Engineering*. vol. 2, no 2, p. 85 a 101.
- Niekerk, A. A. van; Scheers J. van; Muraya, P.; Kisimbi, A. (2000). The Effect of Compaction on the Mechanical Behaviour of Mix Granulate Base Course Materials and on Pavement Performance. *HERON*. vol. 45, nº 3, p. 197 a 218.
- Theyse, H. L. (2000). The Development of Mechanistic-Empirical Permanent Deformation Design Models for Unbound Pavement Materials from Laboratory and Accelerated Pavement Test Data. *Unbound Aggregates in Road Construction*. Rotterdam: Balkema. p. 285 a 293.
- Werkmeister, S.; Numrich, R.; Wellner, F. (2000). Resilient and Permanent Deformation of Unbound Granular Materials. *Unbound Aggregates in Road Construction*. Rotterdam. p. 171 a 180.

Endereço dos autores

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil
Av. Osvaldo Aranha, 99 – 3º Andar
CEP 90035-190 – Porto Alegre, RS, Brasil

Fone: (51)3316-3659
e-mail: rmalysz@cpgec.ufrgs.br
wpnunez@cpgec.ufrgs.br
gehling@vortex.ufrgs.br
lapav@cpegec.ufrgs.br