

UTILIZAÇÃO DA PARTE FINA DE MISTURAS ASFÁLTICAS PARA AVALIAÇÃO DO DANO POR FADIGA

Renato Peixoto Coutinho
Verônica Teixeira Franco Castelo Branco
Jorge Barbosa Soares
Universidade Federal do Ceará
Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes

RESUMO

O dano por fadiga é um dos principais defeitos em pavimentos asfálticos. A fadiga é ocasionada pelo carregamento dinâmico repetido. Este tipo de dano é provocado pelo tráfego de veículos e pela constante mudança nas condições climáticas às quais a mistura asfáltica é submetida. Problemas como fadiga, deformação permanente e dano por umidade induzida estão relacionados a fenômenos de pequena escala. Estes são afetados pelo teor de ligante, pelas características dos agregados e pelas propriedades da interface ligante/agregado. O presente trabalho visa avaliar o uso de propriedades de Matrizes de Agregados Finos (MAFs) como passo intermediário para a previsão do comportamento viscoelástico e do dano por fadiga de Misturas Asfálticas Completas. Para avaliar o dano por fadiga será utilizado o ensaio de varredura linear de amplitude de deformação e o conceito de dano contínuo em meio viscoelástico. Com este método, é esperado que a obtenção das propriedades do material com relação à resistência ao dano por fadiga seja mais rápida e eficiente, menos influenciada pela metodologia de ensaio adotada.

1. INTRODUÇÃO

A maioria das rodovias brasileiras é constituída de pavimentos do tipo flexível. A presença do material asfáltico na camada mais superficial do pavimento torna seu comportamento dependente do tempo, da taxa de carregamento e da temperatura. Vários trabalhos publicados na literatura afirmam que os materiais asfálticos apresentam comportamento que pode ser representado pelo modelo viscoelástico (Lee e Kim, 1998; Park e Kim, 1998; Momm, 2001; Daniel e Kim, 2002). O comportamento dos materiais viscoelásticos pode ser interpretado como uma combinação dos comportamentos de materiais elásticos e viscosos. Isto pode ser feito porque quando materiais viscoelásticos são submetidos a carregamentos rápidos (altas frequências), estes exibem um comportamento próximo ao dos sólidos elásticos. Em contrapartida, quando se aplicam carregamentos a uma taxa lenta (baixas frequências), o material apresenta deformações permanentes com o passar do tempo, assemelhando-se ao comportamento dos fluidos viscosos.

O dano por fadiga é provocado pelo tráfego de veículos e pela constante mudança nas condições climáticas às quais a mistura asfáltica está submetida. Problemas como fadiga e deformação permanente estão relacionados a fenômenos de pequena escala. Estes são afetados pelo teor de ligante, pelas características dos agregados, e pelas propriedades da interface ligante/agregado. Um dos desafios no projeto de misturas asfálticas é encontrar a fração volumétrica ótima para cada componente, a fim de fornecer um material com um bom desempenho para a aplicação considerada. O estudo das Matrizes de Agregados Finos (MAFs) (Cimento Asfáltico de Petróleo - CAP, agregados miúdos e filer) como ferramenta para estimar o comportamento de Misturas Asfálticas Completas (MACs) (CAP, agregados graúdos, agregados miúdos e filer) é motivado pela suspeita de que o dano por fadiga inicia-se nesta região da mistura. Outro motivo relevante é a uniformidade da estrutura interna da MAF.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica deste trabalho abordará tópicos referentes à: (i) viscoelasticidade linear e não linear, (ii) dano por fadiga, (iii) MAF e (iv) análise multiescala.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste trabalho serão utilizadas três MACs e suas correspondentes MAFs. Duas das MACs serão dosadas com CAP 50/70 convencional, fornecido pela Petrobras/Lubnor. Outra mistura será dosada com o CAP 50/70 modificado com EVA. Os agregados utilizados são provenientes de diferentes pedreiras no estado do CE: (i) Pedreira de Itaitinga (MFT) Ltda.; (ii) Pyla Pedreira Yolita Ltda. e (iii) OCS Kibrita Mineração. Serão usados como agregado graúdo as britas 3/4" e 3/8", como agregado miúdo o pó de pedra e a areia de campo e como material de enchimento o fíler natural.

3.1. Método para dosagem e obtenção das amostras de MAFs

Existem na literatura diversos métodos para dosagem de MAFs, Kim *et al.* (2003) utilizaram um teor de ligante constante (8%). Estes autores também utilizaram um método de compactação por golpes, diferente do que é utilizado na dosagem da mistura completa. Castelo Branco (2008) propôs um método que considera toda a massa de ligante presente na MAC e desconsidera a quantidade de ligante absorvida e adsorvida pelos agregados graúdos nesta mistura, com isso as amostras de MAFs geradas a partir deste método contêm 100% do ligante e as mesmas proporções de agregados miúdos (menor do que 1,18mm) que foram utilizados na dosagem das MACs. Vasconcelos e Little (2010) e Coutinho *et al.* (2010) utilizaram o método proposto por Castelo Branco (2008) usando 30% a menos no teor de ligante encontrado. Esta redução foi realizada por motivos operacionais, pois não foi possível moldar Corpos de Prova (CPs) com os teores encontrados originalmente. Karki (2010) utilizou propriedades de agregados e ligante para estimar o percentual de CAP que fica retido nos agregados graúdos (absorção e espessura do filme de ligante) da mistura e a partir deste resultado encontrou o teor de ligante que deveria ser utilizado na MAF. Sousa *et al.* (2011) propuseram um método que realiza uma separação experimental da porção fina (menor do que 1,18mm) da porção graúda e determina o teor de ligante presente na porção fina. Apesar de o método produzir amostras representativas da parte fina das misturas completas, ele apresenta fatores limitantes como o tempo de execução e a necessidade de utilização de uma estufa de ignição.

Diante do exposto, verifica-se a necessidade de um método simples e eficaz que defina o teor de ligante presente na MAF, de forma que esta possa ser utilizada para representar a fase fina da mistura completa. Durante este estudo será proposto um novo método de dosagem de MAF. Este método pode ser resumido nas seguintes etapas: (i) preparo da MAC solta e resfriada; (ii) peneiramento da MAC solta e resfriada na peneira #10; (iii) extração de ligante de ambas as partes passante e retida (miúda e graúda) na peneira #10; (iv) peneiramento do produto da extração da parte graúda da mistura solta; (v) determinação do percentual de ligante presente em cada uma das partes da MAC.

Depois de encontrado o teor de ligante que deve ser utilizado no projeto das MAFs, serão preparados CPs. Estes CPs serão compactados em um Compactador Giratório Superpave (CGS) de modo a ficarem com aproximadamente de 90mm de altura, 100mm de diâmetro

e com Vv específicos (0, 2 e 4%). Depois que os CPs forem compactados, as extremidades superior e inferior devem ser serradas, a fim de produzir um cilindro de 100mm de diâmetro por 50mm de altura. As amostras de MAF serão extraídas utilizando uma serra copo acoplada a uma furadeira de bancada.

3.2. Caracterização viscoelástica linear

O passo seguinte dessa pesquisa é a realização da caracterização viscoelástica linear de todas as misturas. As amostras de MAF serão testadas em um Reômetro de Cisalhamento Dinâmico (*Dynamic Shear Rheometer* - DSR). O módulo dinâmico e o ângulo de fase serão encontrados submetendo-se o CP a tensões de cisalhamento oscilatórias. As amostras de MAF serão ensaiadas em diferentes temperaturas e frequências e, a partir do Princípio da Superposição Tempo Temperatura (PSTT), estes dados serão superpostos em curvas mestras.

3.3. Identificação do comportamento viscoelástico linear, não linear e de dano por fadiga em MAFs

Um dos desafios na caracterização de dano por fadiga em misturas asfálticas é a separação da resposta viscoelástica da resposta ocasionada pelo desenvolvimento do dano por fadiga. A complexidade desta tarefa reside no fato de que tanto a não linearidade como o dano têm efeito semelhante na resposta mecânica dos materiais, isto é, diminuição do módulo dinâmico e aumento do ângulo de fase (Castelo Branco, 2008). Para realizar a separação das zonas de comportamento, será utilizado um procedimento experimental desenvolvido a partir daquele idealizado por Castelo Branco (2008), no qual foram realizados testes de varredura de tensão e deformação para separar a zona viscoelástica não linear da zona de dano por fadiga em amostras de MAFs. Neste trabalho, considera-se não-linearidade como um fenômeno associado principalmente às grandes deformações na fase ligante além dos movimentos de rotação e deslizamento de partículas de agregados, enquanto que o dano por fadiga seria associado primordialmente à formação e à propagação de trincas.

3.5. Caracterização do dano por fadiga em MAFs

O procedimento para esta etapa da pesquisa ainda não está totalmente definido por ser dependente dos resultados das etapas anteriores e por necessitar de uma ampla pesquisa bibliográfica e experimental. No estágio atual da pesquisa existe uma tendência para utilização do método proposto por Hintz *et al.* (2011). Este método foi idealizado para ligantes asfálticos e é baseado na teoria de propagação de trincas proposta por Schapery (Schapery, 1984) e no conceito de dano contínuo em meio viscoelástico (DCVE). O conceito da DCVE é utilizado em misturas asfáltica e alguns pesquisadores vêm demonstrando a eficácia do uso deste conceito para a predição da evolução do dano em materiais asfálticos (Kim e Little, 1990; Lee *et al.*, 2000; Daniel e Kim, 2002; Kim *et al.*, 2002; Daniel *et al.*, 2004; Johnson, 2010). O DCVE faz uso de propriedades da zona linear e a redução da rigidez do material para caracterizar a evolução do dano. O benefício deste método é o fato de que ele permite o uso de resultados de ensaios de um simples grupo de condições para prever o comportamento do material sobre uma grande variedade de condições alternativas (Johnson, 2010).

4. RESULTADOS ESPERADOS

Como resultado desta pesquisa espera-se obter um método eficaz e rápido para a análise de fadiga em MAFs e utilizar estes resultados como uma etapa intermediária para a caracterização do dano por fadiga em MACs. O método usado por Hintz *et al.* (2011) para a predição de fadiga em ligantes gerou resultados satisfatórios quando comparado com outros métodos já consagrados. É esperada que a adaptação deste método para a MAFs resulte em uma caracterização eficiente do dano por fadiga e forneça resultados que possam ser relacionados com o comportamento das MACs.

Agradecimentos

Os autores agradecem às agências de fomento à pesquisa ANP/PRH31, CNPq, FUNCAP e FINEP pelo apoio financeiro ao desenvolvimento desta pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Castelo Branco, V.T.F. (2008) A Unified Method for the Analysis of Nonlinear Viscoelasticity and Fatigue Cracking of Asphalt Mixtures Using the Dynamic Mechanical Analyzer. *Tese de Doutorado*, Texas A&M University, Engenharia Civil, Texas.
- Coutinho, R.P., Pamplona, T.F., Castelo Branco, V.T.F., Soares, J.B., Mateos, A. (2010) Multiscale Approach for Characterization of Asphaltic Materials Designed in Brazil and Spain. *11th International Conference on Asphalt Pavements – ISAP*, Japão.
- Daniel, J.S., Kim, Y.R. (2002) Development of a Simplified Fatigue Test and Analysis Procedure Using a Viscoelastic Continuum Damage Model. *J. Assn. Asphalt Paving Technologists*.
- Daniel, J.S., Bisirri, W., Kim, Y.R. (2004) Fatigue Evaluation of Asphalt Mixtures Using Dissipated Energy and Viscoelastic Continuum Damage Approaches. *J. Assn. Asphalt Paving Technologists*, 73, 557-583.
- Hintz, C., Velasquez, R., Johnson, C., Bahia, H. (2011) Modification and Validation of the Linear Amplitude Sweep Test for Binder Fatigue Specification. *Transportation Research Board*, 23-27.
- Johnson, C.M. (2010) Estimating Asphalt Binder Fatigue Resistance Using an Accelerated Test Method. *Tese de Doutorado*, University of Wisconsin – Madison, Engenharia Civil e Ambiental, Wisconsin.
- Kim, Y.R., Little, D.N. (1990) One-dimensional Constitutive Modeling of Asphalt Concrete. *Journal of Engineering Mechanics*, 116, 751-772.
- Karki, P. (2010). Computational and Experimental Characterization of Bituminous Composites Based on Experimentally Determined Properties of Constituents. *Tese de Doutorado*, University of Nebraska – Lincoln, Engenharia Civil, Nebraska.
- Kim, Y.R., Little, D.N., Lytton, R.L. (2002) Use of Dynamic Mechanical Analysis (DMA) to Evaluate the Fatigue and Healing Potential of Asphalt Binders in Sand Asphalt Mixtures. *J. Assn. Asphalt Paving Technologists*, 71, 176-206.
- Kim, Y.R., Little D.N., Song I.I. (2003). Effect of Mineral Fillers on Fatigue Resistance and Fundamental Material Characteristics: Mechanistic Evaluation. *Transportation Research Record*, 1832, 1-8.
- Lee, H.J., Kim, Y.R. (1998). Viscoelastic Constitutive Model for Asphalt Concrete under Cyclic Loading. *Journal of Engineering Mechanics*, 124, 32-40.
- Lee, H.J., Daniel, J.S., Kim, Y.R. (2000) Continuum Damage Mechanics-Based Fatigue Model of Asphalt Concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 12, 105-112.
- Momm, L. (2001) Comportamento Viscoelástico do Concreto Asfáltico. *33^a Reunião Anual de Pavimentação, ABPv*, 471-487. Florianópolis.
- Park, S., Kim, Y. (1998) Analysis of Layered Viscoelastic System with Transient Temperatures. *Journal of Engineering Mechanics*, 124, 223-231.
- Schapery, R.A. (1984) Correspondence Principles and a Generalized J Integral for Large Deformation and Fracture Analysis of Viscoelastic Media. *International Journal of Fracture*, 25, 195-223.
- Sousa, P., Kassem, E., Masad, E., Little, D. (2011) New Design Method of Fine Aggregates Mixtures and Automated Method for Analysis of Dynamic Mechanical Characterization Data. *Transportation Research Board*, Washington.
- Vasconcelos, K.L., Little, D.N. (2010). Efeito do Uso da Cal Hidratada e de DOPE no Comportamento Mecânico de Misturas Asfálticas Finas. *40^a Reunião Anual de Pavimentação*, Rio de Janeiro, Brasil.