

CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DA DEFORMAÇÃO PERMANENTE DE MISTURAS ASFÁLTICAS DENSAS

Andressa Ka Yan NG

Ana Paula Furlan

Universidade de São Paulo

Escola de Engenharia de São Carlos

RESUMO

Um dos principais mecanismos de deterioração dos pavimentos asfálticos é o acúmulo de deformação permanente que se caracteriza pela formação de depressões longitudinais ao longo das trilhas de roda. O desenvolvimento deste mecanismo ocorre devido a diversos fatores intrínsecos (características das misturas asfálticas) e extrínsecos (clima, tipo e carga de tráfego). Essa pesquisa busca contribuir para o entendimento do efeito da faixa granulométrica, do volume de vazios e do tipo de ligante na deformação permanente das misturas asfálticas densas avaliadas através do ensaio de fluência por compressão uniaxial.

1. PROPOSTA DE PESQUISA

O aparecimento precoce do afundamento em trilhas de roda de revestimentos asfálticos tem sido cada vez mais freqüente. A deformação permanente caracteriza-se pela formação de depressões longitudinais, acompanhadas ou não de elevações laterais que ocorrem ao longo das trilhas de roda, que se desenvolvem com o aumento do número de solicitações do tráfego ou da intensidade da carga, podendo ser resultado da deformação em camadas subjacentes do pavimento, por densificação ou ruptura, ou ainda um fenômeno particular do revestimento asfáltico.

A seleção de materiais e o controle tecnológico são sempre soluções para a redução do potencial de defeitos de uma mistura asfáltica. Para Bernucci et al. (2008) misturas asfálticas mais rígidas podem ser mais resistentes à deformação permanente, entretanto essa característica depende da combinação de um grande número de fatores, não somente os relacionados aos materiais (tipo de agregado ou ligante) particularmente e à mistura asfáltica resultante (faixa granulométrica e volume de vazios), mas também a fatores externos condicionantes (temperatura e carga do tráfego).

Essa pesquisa visa contribuir para o entendimento da deformação permanente das misturas asfálticas, focando a importância do efeito dos fatores (a) faixa granulométrica, (b) volume de vazios e (c) tipo do ligante no seu desenvolvimento, com eventuais implicações em algumas outras propriedades mecânicas.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A deformação permanente em trilha de roda é um defeito caracterizado por uma distorção, decorrente da consolidação de uma ou mais camadas do pavimento (YODER e Witczak, 1975) ou pela ruptura ao cisalhamento dessas camadas, devido à ação de cargas repetitivas do tráfego (LAI e HUFFERD, 1976; HENSLEY e LEAHY, 1989; ANANI *et al.*, 1990). Para reduzir o potencial de ocorrência da deformação permanente, muitos pesquisadores têm concentrado esforços na seleção de materiais e no controle de algumas características preponderantes das misturas asfálticas.

No que se refere aos materiais, a distribuição granulométrica dos agregados pode ser considerada a característica mais importante da mistura asfáltica, uma vez que aumentando o atrito e o entrosamento entre os grãos pode-se obter melhoria na rigidez, na estabilidade e na

resistência ao cisalhamento (ROBERTS *et al.*, 1996). Outras características relacionadas às frações granulométricas do agregado também podem potencializar o surgimento de Afundamento de Trilha de Roda (ATR) em misturas asfálticas, como por exemplo, o formato arredondado e a superfície lisa das partículas dos agregados naturais, e a quantidade de finos (AMARAL, 2004; CARVALHO, 1999).

Com relação aos ligantes asfálticos, a tentativa de melhorar a resistência ao acúmulo de deformação permanente tem consistido no emprego de ligantes mais viscosos que podem suportar maiores tensões em temperaturas elevadas. O uso de ligantes asfálticos modificados também tem se mostrado promissores na redução do ATR, principalmente quando esses modificadores contribuem para acelerar a recuperação elástica e a dissipação de energia de deformação armazenada no carregamento (BERNUCCI *et al.*, 2008; TAIRA, 2001)

Kamel e Miller (1994) relataram uma redução de 50% no ATR e um aumento da vida de fadiga em mais 300% com o uso de ligantes modificados. Concluíram, então, que através do uso de determinados aditivos é possível, em uma mesma mistura, obter uma melhoria no desempenho em alta temperatura sem que isto afete o comportamento à fadiga em temperaturas mais amenas.

Outro fator preponderante no acúmulo da deformação permanente é o volume de vazios da mistura asfáltica. Linden *et al.* (1989), pesquisando sobre o efeito da variação do volume de vazios na estabilidade das misturas asfálticas, concluíram que o aumento de 1% no volume de vazios (V_v), tendo como referencial para misturas asfálticas o $V_v=7\%$, pode reduzir em aproximadamente 10% a vida do pavimento.

De acordo com Souza *et al.* (1991), o aumento do V_v faz com que a camada de revestimento se torne suscetível ao efeito de consolidação nas trilhas de roda, e nesse caso o efeito é caracterizado pelo aparecimento de depressões sem o surgimento de elevações laterais; em oposição ao que ocorre em misturas ricas em ligantes asfálticos e V_v inferiores à 4% que estão expostas à deformação permanente por movimentação plástica, que tem como característica pequenas elevações laterais ao lado do ATR. Em ocasiões de temperaturas elevadas e com a aproximação do ponto de amolecimento do ligante asfáltico, as misturas asfálticas tendem a apresentar aumento da suscetibilidade ao ATR, uma vez que o comportamento do ligante asfáltico nessa condição perde consistência e facilita ainda mais as deformações por cisalhamento.

A estabilidade estrutural de uma mistura asfáltica pode ser estudada a partir da forma como ela se deforma ou flui ao longo do tempo em que dado carregamento é aplicado. Com esse objetivo, pesquisadores da Shell, em busca de métodos simples que permitissem essa avaliação, desenvolveram o ensaio de fluência por compressão uniaxial, também conhecido por ensaio de *creep* (COELHO, 1996).

No Brasil o ensaio de creep estático é muito utilizado, trata-se de um ensaio que alia vantagens como o simples manuseio e baixo custo. Com o ensaio de creep é possível visualizar os três estágios de fluência que uma mistura pode apresentar, e a influência da tensão na velocidade da deformação de fluência.

Little *et al.* (1993), analisando a curva do logaritmo da velocidade de formação de fluência em função da tensão de fluência, concluíram que para níveis baixos de tensão, a velocidade de fluência é baixa. Em níveis médios de tensão, a relação entre o logaritmo da velocidade de fluência e a intensidade de tensão é aproximadamente linear. E para os níveis de tensão próximos à ruptura do material, este apresenta uma relação não linear entre as variantes, e um acelerado crescimento da velocidade de fluência com o aumento da tensão.

3. PROGRAMA EXPERIMENTAL

Um programa experimental completo englobando todos os fatores considerados importantes no que se refere à deformação permanente de misturas asfálticas resultaria em um número elevado de condições experimentais. Assim, para tornar viável dentro do período de uma dissertação, foi desenvolvido um programa experimental em parceria com outra pesquisa, em nível de mestrado, relacionada ao estudo do comportamento de misturas asfálticas densas.

As misturas asfálticas a serem testadas nesta pesquisa são resultantes da combinação fatorial de quatro fatores:

- Fator 1 - Agregado: 1 nível (granito);
- Fator 2 - Faixa granulométrica: 2 níveis (Limite superior e inferior da Faixa C do DNIT);
- Fator 3 - Ligante asfáltico: 2 níveis (CAP Puro, CAP Modificado com Polímero SBS);
- Fator 4 - Volume de vazios: 2 níveis (4,0 e 7,0%).

Partindo dessa configuração de fatores e de níveis, a combinação fatorial (1x2x2x2) resulta em 8 condições experimentais, com 6 corpos-de-prova por condição, e portanto, a produção de 48 corpos-de-prova. A idéia de fazer o fator faixa granulométrica variar em dois níveis tem o objetivo de entender melhor o comportamento da mistura asfáltica devido a (i) possíveis variações de características volumétricas no controle tecnológico e (ii) a influência da presença de maiores porcentagens de dadas frações granulométricas na mistura asfáltica. Quanto ao fator volume de vazios, a variação dos níveis de 4% para 7% influenciará no grau de compactação e na estabilidade da mistura asfáltica, permitindo apreciar o efeito dessa variável na deformação permanente.

Nos ensaios mecânicos para a determinação da deformação permanente das misturas asfálticas, os corpos de prova serão divididos em três grupos, sendo que cada par de CP será ensaiado em condição de tensão diferente em conformidade com o método ASTM D 2990-09. Nesse número de CP não se incluem os necessários para a dosagem das misturas e de estudo de outras propriedades volumétricas das misturas asfálticas.

A dosagem das misturas asfálticas será executada de acordo com os procedimentos de Superpave® Nível 1 Strategic Highway Research Program (SHRP) que engloba o estudo das características volumétricas do material, a determinação do teor de projeto e a avaliação da suscetibilidade ao dano por umidade das misturas asfálticas.

Após a etapa de dosagem, serão executados ensaios de propriedades mecânicas para verificar se houve melhora ou não nas propriedades das misturas asfálticas em consequência da variação dos fatores. Nessa fase são compreendidos os ensaios apresentados a seguir:

- **Ensaio de módulo de resiliência** (ASTM D 4123). O ensaio consiste na aplicação de carregamentos dinâmicos de magnitudes fixas, com 1,0 s de duração, sendo cada ciclo constituído por um período de carregamento de 0,1 s e um período de repouso de 0,9 s;

- **Ensaio de resistência à tração por compressão diametral** (ASTM D 4123) – O ensaio consiste na aplicação de carga progressiva até a ruptura, por separação das duas metades do corpo de prova, num plano diametral vertical. O ensaio será realizado na temperatura de 40°C;

- **Avaliação da resistência à deformação permanente de misturas asfálticas a partir do ensaio de creep estático** - O ensaio consiste da compressão de um corpo-de-prova cilíndrico com aplicação de uma carga estática durante um tempo de 60 minutos, seguido pelo descarregamento por 15 minutos para a recuperação do material. Esse será realizado em três tensões (1,0, 4,0 e 7,0 kgf/cm²). Os ensaios serão realizados na temperatura de 40° C que, além de ser um valor corrente observado na literatura, é um valor mais condizente com as temperaturas de serviço brasileiras.

Agradecimento

Os autores agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio à pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amaral, S.C. (2004) Estudo de misturas laterita-asfalto da região metropolitana de Belém – PA para revestimento de pavimento. Tese de Doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 174p.
- Anani, B.A.; Balghunaim, F.A.; Al-Hazzaa, A.S. (1990) Laboratory and field study of pavement rutting in Saudi Arabia. *Transp. Res. Rec. No. 1259*, Transportation Research Board, Washington, D.C., 79–90.
- Bernucci, L.B.; Moura, E.; Furlan, A.P.; Motta, R.; Leite, F.C.; Faria, V.C. (2008) Efeito do teor e do tipo de ligante na formação de trilhas de roda em misturas asfálticas. *Anais do 19º Encontro de Asfalto*, IBP – Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás, Rio de Janeiro, v.1, p. 215–224.
- Carvalho, A.D. (1999) Propriedades das misturas asfálticas densas com brita e com seixo rolado utilizadas como revestimento de pavimento no Pará. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 220p.
- Coelho, V. (1996) Contribuição ao estudo das deformações permanentes, nas condições do Brasil, em camadas de concreto asfáltico de pavimentação. Tese de doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos, 281p.
- Hensley, M.J.; Leahy, R.B. (1989) Asphalt concrete mixture as related to pavement rutting: case studies. *Transp. Res. Rec. No. 1217*, Transportation Research Board, Washington, D.C., 87–96.
- Kamel, N.I.; Miller, L.J. (1994) Comparative performance of pavement mixes containing conventional and engineered asphalts. *Transp. Res. Rec. No. 1454*, Transportation Research Board, Washington, D.C., 172–180.
- Lai, J.S.; Hufferd, W.L. (1976) Predicting permanent deformation of asphalt concrete from creep tests. *Transp. Res. Rec. No. 616*, Transportation Research Board, Washington, D.C., 41–43.
- Linden, R.N.; Mahoney, J.P.; Jackson, N.C. (1989) Effect of compaction on asphalt concrete performance. *Transp. Res. Rec. No. 1217*, Transportation Research Board, Washington, D.C., 20–28.
- Little, D.N.; Button, J.W.; Youssef, H. (1993) Development of criteria to evaluate uniaxial creep data and asphalt permanent deformation potential. *Transp. Res. Rec. No. 1417*, Transportation Research Board, Washington, D.C., 49–57.
- Roberts, L.F.; National Asphalt Pavement Association (1996) *Hot mix asphalt materials, mixture design, and construction*. (2^a ed.). NAPA Education Foundation, Lanham.
- Souza, J.B.; Craus, J.; Monismith, C.L. (1991) Summary report on permanent deformation in asphalt concrete. *SHRP-A/IR-91-104*, Strategic Highway Research Program National Research Council, Washington, D.C., 120p.
- Taira, C. (2001) Avaliação do desempenho em laboratório de misturas asfálticas densas utilizando asfalto convencional (CAP-20) e asfalto modificado com polímero SBS (Betuflex B 65/60). Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos, 153p.
- Yoder, E.J.; Witczak, M.W. (1975) *Principles of pavement design*. (2^a ed.). John Wiley & Sons, Inc., New York.

Andressa Ka Yan NG (andressang@usp.br)

Ana Paula Furlan (afurlan@sc.usp.br)

Departamento de Transportes, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo
Av. Dr. Carlos Botelho, 1465 – São Carlos, SP, Brasil