

## ESTUDO DO ENVELHECIMENTO FOTO-OXIDATIVO DE MISTURAS ASFÁLTICAS

**Thalita Cristina Brito Nascimento**

**Adalberto Leandro Faxina**

Universidade de São Paulo

Escola de Engenharia de São Carlos

### RESUMO

O envelhecimento provoca aumento da rigidez do ligante asfáltico, podendo prejudicar o desempenho da mistura asfáltica, uma vez que o enrijecimento excessivo favorece a ocorrência prematura de trincamento por fadiga e de origem térmica no pavimento. Estão disponíveis alguns protocolos de ensaio que permitem simular em laboratório o envelhecimento que ligantes e misturas asfálticas sofrem em campo, porém estes procedimentos não simulam a ação da radiação ultravioleta (UV). Nesta pesquisa, pretende-se quantificar o efeito da radiação UV no envelhecimento de misturas asfálticas, por meio da determinação do módulo de resiliência das misturas asfálticas e por meio de ensaios químicos e reológicos nos ligantes asfálticos extraídos e recuperados. Pretende-se comparar o método de envelhecimento proposto (foto-oxidativo) com o método padronizado pela AASHTO R 30-02 (termo-oxidativo) e o envelhecimento de misturas asfálticas extraídas de pista. Acredita-se que esta pesquisa possa contribuir para aprofundar o conhecimento do fenômeno do envelhecimento de misturas asfálticas.

### 1. INTRODUÇÃO

O pavimento asfáltico está sujeito a determinados fatores ambientais que contribuem para a diminuição da sua vida útil, tais como variações de temperatura, umidade oriunda das chuvas e radiação solar. Porém, alguns dos fatores que afetam as propriedades mecânicas dos pavimentos asfálticos se apresentam antes mesmo da sua vida de serviço começar, ainda na fase de usinagem e compactação da mistura asfáltica, quando o contato do ligante asfáltico com ar inicia o processo oxidativo (envelhecimento), que continua a se desenvolver de forma mais lenta durante a vida útil do pavimento.

Apesar do grande número de estudos que abordaram os efeitos do envelhecimento do ligante asfáltico, os efeitos do envelhecimento na mistura completa, considerando a interação asfalto-agregado mineral, não podem ser ignorados. Esta foi uma das principais conclusões de um extenso estudo desenvolvido pelo *Strategic Highway Research Program* (SHRP) com misturas asfálticas (Bell e Sosnovske, 1994). Os pesquisadores afirmaram que o estudo isolado do envelhecimento do ligante não é o mais adequado para prever o envelhecimento da mistura asfáltica, pois o agregado mineral tem, para certos tipos de mistura, um papel atenuante, que pode estar relacionado ao grau de adesão do ligante ao agregado.

No campo de estudo dos ligantes asfálticos, além do envelhecimento termo-oxidativo, muitos pesquisadores têm avaliado os efeitos da radiação ultravioleta (UV) nas propriedades reológicas e químicas dos resíduos envelhecidos pelo processo foto-oxidativo (Yamaguchi et al., 2005; Durrieu et al., 2007; Yu et al., 2010; Mouillet et al., 2014; Nascimento e Faxina, 2017). Já no campo das misturas asfálticas, a influência da radiação UV não costuma ser considerada, tendo em vista que esta atinge apenas a camada superficial do pavimento. Porém, se faz necessário compreender como essa exposição à radiação UV pode contribuir para o envelhecimento da mistura asfáltica completa, ainda que a sua ação seja apenas superficial, já que o pavimento é uma estrutura linear de grande área superficial e vida de serviço longa.

Considerando a hipótese de que a radiação UV contribui para o envelhecimento da mistura asfáltica e, conseqüentemente, para a alteração das suas propriedades mecânicas, e tendo em

vista que os procedimentos que simulam o envelhecimento das misturas asfálticas não levam em conta esta variável, pretende-se, nesta pesquisa, realizar um estudo dos efeitos do envelhecimento foto-oxidativo nas misturas asfálticas. Pretende-se comparar o método de envelhecimento proposto (foto-oxidativo) com o método padronizado pela AASHTO R 30-02 (termo-oxidativo) e o envelhecimento de amostras extraída de pista. Espera-se, com isto, contribuir com o aprofundamento do conhecimento do fenômeno de envelhecimento de misturas asfálticas, considerando os materiais e as condições climáticas locais.

## 2. REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

O envelhecimento do ligante asfáltico no pavimento é o processo geral que ocorre com a exposição do material à água e à luz e que inclui a perda de voláteis e a oxidação (Jones, 1992). O contato da mistura asfáltica com o oxigênio do ar é um dos principais responsáveis pelo endurecimento do ligante asfáltico (Petersen, 2009). A formação de grupos funcionais químicos contendo oxigênio aumentam a consistência do ligante asfáltico por meio de fortes interações moleculares (Petersen, 1984). Os dois principais produtos da oxidação do ligante são os sulfóxidos ( $S=O$ ) e as carbonilas ( $C=O$ ), que podem ser identificados por espectroscopia de infravermelho (Jones, 1992, Redelius e Soenen, 2015). O envelhecimento oxidativo se estende a longo prazo e é controlado pela temperatura de serviço do pavimento (Jones, 1992).

Em 1994, o programa de pesquisas SHRP publicou três recomendações de procedimentos para simulação do envelhecimento de misturas asfálticas em laboratório e que tiveram validação em campo (Bell et al., 1994). No procedimento de envelhecimento a curto prazo, a mistura é aquecida solta em estufa a  $135^{\circ}C$  por 4 horas. De acordo com as recomendações do SHRP, após o envelhecimento a curto prazo, as amostras devem ser compactadas e envelhecidas a longo prazo em estufa a  $85^{\circ}C$  por 5 dias ou em uma célula triaxial modificada, em que moléculas de oxigênio atravessam a amostra, na temperatura de  $85^{\circ}C$  por 5 dias (Bell et al., 1994; Kliewer et al., 1995). Em 2002, foi publicada a AASHTO R 30, que estabelece os procedimentos para o condicionamento a curto e a longo prazos, considerando as práticas recomendadas pelo SHRP.

A sensibilidade do ligante asfáltico aos envelhecimentos termo-oxidativo e foto-oxidativo é diferente (Xiao et al., 2013), tendo este último se tornado um campo de investigação de vários pesquisadores. Airey (2003) cita os primeiros métodos empregando a radiação ultravioleta e o infravermelho em misturas asfálticas: exposição de uma mistura de areia e asfalto à radiação infravermelha por 1000 h (Hveem et al., 1963), exposição à luz actínica por 18 h (Kemp e Prodoehl, 1981), exposição de misturas asfálticas à radiação UV por 54 h e por 14 dias (Hugo e Kennedy, 1985) e comparação do envelhecimento UV a  $60^{\circ}C$  com outros procedimentos que consideram apenas o efeito da temperatura (Tia et al., 1988). Para Airey (2003) a exposição à radiação UV e ao infravermelho estão incluídos nos métodos mais promissores para a simulação do envelhecimento a longo prazo das misturas asfálticas. Conforme Xiao et al. (2013), o desempenho tanto dos ligantes quanto o das misturas é afetado pelo envelhecimento UV, o que pode ser refletido, em especial, na resistência ao trincamento e na ductilidade sob baixas temperaturas.

No campo dos ligantes asfálticos, vários estudos têm buscado incluir a radiação ultravioleta como um dos mecanismos para o envelhecimento do material, porém, poucos estudos associam a fotodegradação às misturas asfálticas. Um deles é o de Hagos (2008), que utilizou mistura asfáltica porosa para avaliar os efeitos do envelhecimento. Ligantes asfálticos foram

submetidos ao envelhecimento a curto e a longo prazos (*rolling thin film oven test* – RTFOT e *rotating cylinder aging test* – RCAT) e comparados com ligantes asfálticos recuperados de amostras extraídas de pista. O autor propôs ainda um método de envelhecimento laboratorial de misturas que combina temperatura, luz UV e umidade. Os resultados da pesquisa apontaram que o método proposto simula mais tempo (3 anos), quando comparado com os métodos padronizados, mas não poderia ainda simular adequadamente o envelhecimento de campo a longo prazo.

Mouillet et al. (2016) levaram em consideração a possibilidade de reatividade do agregado mineral durante o envelhecimento foto-oxidativo e avaliaram a ação da radiação UV em uma mistura asfáltica porosa. Os resultados demonstraram que o envelhecimento foto-oxidativo foi o que mais contribuiu para a produção de funções carbonila, para o desaparecimento das ligações duplas C=C do copolímero SBS e para o aumento do endurecimento do ligante asfáltico. Tais resultados mostram a importância da investigação dos efeitos da radiação UV, não apenas nos ligantes, em que já existem muitas pesquisas a respeito, mas na mistura completa também, considerando os materiais e as condições ambientais locais.

### 3. MÉTODO E ETAPAS DA PESQUISA

Nesta pesquisa, o envelhecimento da mistura asfáltica em campo será comparado com o envelhecimento simulado em laboratório. No envelhecimento de laboratório, amostras de mesmo material das amostras de campo serão envelhecidas pelos procedimentos termo-oxidativo e foto-oxidativo. Todas as amostras, com exceção das coletadas em usina, serão envelhecidas a curto prazo. No envelhecimento a curto prazo, a mistura será aquecida solta em estufa na temperatura de 135°C por 4 h. Após a execução do condicionamento a curto prazo, algumas amostras serão submetidas ao condicionamento a longo prazo estabelecido pela AASTHO R 30 e outras serão submetidas aos condicionamentos UV propostos. No procedimento descrito pela AASTHO, as amostras são compactadas e envelhecidas em estufa a 85°C por 120 h. Nos dois procedimentos de envelhecimento foto-oxidativos propostos, as amostras serão expostas à radiação UV de 0,68 W/m<sup>2</sup>, na temperatura de 85°C por 120 horas. Em um deles, serão utilizadas amostras previamente submersas em água por 24 h e no outro serão utilizadas amostras sem imersão.

A avaliação dos envelhecimentos será feita em duas escalas: na mistura asfáltica, por meio da determinação do módulo de resiliência (ASTM D4123), e no ligante asfáltico extraído e recuperado, por meio de ensaios reológicos de determinação do módulo complexo e ângulo de fase (ASTM D7175-05) e varredura de amplitude linear (AASHTO TP 101-14). Os ligantes asfálticos também serão submetidos à caracterização química por meio da espectroscopia FTIR (*Fourier Transform Infrared*) e do fracionamento SARA (ASTM D 4124).

### 4. RESULTADOS ESPERADOS

Acredita-se que as condições a serem simuladas em laboratório, pelo processo de envelhecimento foto-oxidativo, sejam capazes de simular, com razoável grau de representatividade, o processo de envelhecimento sofrido pela mistura asfáltica em pista. Os resultados obtidos da aplicação do método padronizado pela AASTHO (termo-oxidativo) servirão de parâmetro comparativo com os resultados obtidos pelo processo de envelhecimento proposto. A comparação com os resultados de amostras obtidas da rodovia também fornecerá informações importantes acerca do que acontece em pavimentos reais. Este trabalho se propõe a analisar diferentes condições de envelhecimento e diferentes materiais,

do ponto de vista do desempenho das misturas asfálticas e das características reológicas e químicas dos ligantes asfálticos. Espera-se que o conhecimento gerado contribua, ainda que de maneira singela e preliminar, com o desenvolvimento de estudos mais aprofundados dos efeitos da radiação UV nos pavimentos asfálticos.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Airey, G. D. 2003. "State of the Art Report on Ageing Test Methods for Bituminous Pavement Materials." *The International Journal of Pavement Engineering*, Setembro: 165-176. doi:10.10850/1029843042000198568.
- Bell, C. A., e D. Sosnovske. 1994. "Aging: Binder Validation." SHRP-A-384.
- Bell, C. A., Y Abwahab, M. E. Cristi, e D. Sosnovske. 1994. "Selection of Laboratory Aging Procedures for Asphalt-Aggregate Mixtures." SHRP-A-383.
- Durrieu, F., F. Farcas, e V. Mouillet. 2007. "The influence of UV aging of a Styrene-butadiene-styrene modified bitumen: comparison between laboratory and on site aging." *Fuel*, 1446-1451.
- Hagos, E. T. 2008. "The Effect of Aging on Binder Properties of Porous Asphalt Concrete." *Tese (Doutorado)*. Delft University of Technology, Delft, Países Baixos.
- Hugo, F., e T.W. Kennedy. 1985. "Surface cracking of asphalt mixtures in Southern Africa." *Proc. Assn. Asphalt Paving Technol.*, 454-501.
- Hveem, F. N., E. Zube, e J. Skog. 1963. "Proposed new tests and specifications for paving grade asphalts." *Association of Asphalt Paving Technologists*, 247-327.
- Jones, D. R. 1992. "Understanding How the Origin and Composition of Paving-Grade Asphalt Cements Affect Their Performance." *SHRP Asphalt Research Program Technical Memorandum #4*. The University of Texas, Austin, Texas.
- Kemp, G.R., e N.H. Prodoehl. 1981. "A comparison of field and laboratory environments on asphalt durability." *Proc. Assn. Asphalt Paving Technol.*, 492-537.
- Kliwer, J. E., C. A. Bell, e D. A. Sosnovske. 1995. "Investigation of the relationship between field performance and laboratory aging properties of asphalt mixtures." *ASTM STP 1265:3-20*.
- Mouillet, V., F. Farcas, E. Chailleux, e L. Sauger. 2014. "Evolution of bituminous mix behaviour submitted to UV rays in laboratory compared to field exposure." *Materials and Structures*, 1287-1299.
- Mouillet, V., F. Farcas, J. Sauger, e E. Chailleux. 2016. "Study of UV rays effects on the evolution of bituminous mix behaviour." *6th Eurasphalt & Eurobitume Congress*. Prague, Czech Republic. 12. doi:dx.doi.org/10.14311/EE.2016.027.
- Nascimento, T. C. B., e A. L. Faxina. 2017. "Evaluation of the effects of ultraviolet radiation on the rheological properties of asphalt binders modified with PPA and SBS and SBR copolymers." *Transportation Research Board Annual Meeting*. Washington.
- Petersen, J. C. 2009. "A Review of the Fundamentals of Asphalt Oxidation." *Transportation Research Circular E-C140*, Outubro.
- Petersen, J. C. 1984. "Chemical Composition of Asphalt as Related to Asphalt Durability: State of the Art." *Transportation Research Record*, 13-30.
- Redelius, P., e H. Soenen. 2015. "Relation between bitumen chemistry and performance." *Fuel*, 34-43.
- Tia, M., B.E. Ruth, C.T. Charai, J.M. Shiau, D. Richardson, e J. Williams. 1988. "Investigation of original and in-service asphalt properties for the development of improved specifications – final phase of testing and analysis." Final Report, Engineering and Industrial Experiment Station, University of Florida, Gainesville, FL.
- Xiao, F., D. Newton, B. Putman, V. S. Punith, e S. N. Amirkhanian. 2013. "A long-term ultraviolet aging procedure on foamed WMA mixtures." *Materials and Structures*, Dezembro: 1987-2001. doi:10.1617/s11527-013-0031-7.
- Yamaguchi, K., I. Sasaki, I. Nishizaki, S. Meiarashi, e A. Moriyoshi. 2005. "Effects of film thickness, wavelength, and carbon black on photodegradation of asphalt." *Journal of the Japan Petroleum Institute*, 150-155.
- Yu, M., S.P. Wu, J. Han, e X. Liu. 2010. "Research on UV aging characteristics of inorganic powder modified asphalt binders." *Journal of Wuhan University of Technology*, 76-82.

---

Thalita Cristina Brito Nascimento – thalita\_nascimento@usp.br

Adalberto Leandro Faxina – adalberto@usp.br

Departamento de Engenharia de Transportes, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo  
Av. Trabalhador São-carlense, 400, Centro, São Carlos, SP, 13560-970.