

## ESTUDO DA INCORPORAÇÃO DE BIO-ÓLEOS À BASE DE SOJA COMO AGENTES REJUVENESCEDORES DE LIGANTES ASFÁLTICOS

**Felipe Brandão Santos**  
**Adalberto Leandro Faxina**  
Universidade de São Paulo  
Escola de Engenharia de São Carlos

### RESUMO

A reciclagem da camada asfáltica se tornou prática comum em diversos países devido a seus benefícios econômicos e ambientais. A camada asfáltica deteriorada pode ser fresada, dando origem ao *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP), e utilizada na construção de novas camadas. Entretanto, o ligante asfáltico envelhecido presente no material fresado representa um fator limitante para a incorporação de proporções mais altas de RAP na nova mistura. Para superar esse obstáculo, uma das soluções é a adição de agentes rejuvenescedores, que são capazes de restaurar as propriedades originais do ligante envelhecido. Nesta pesquisa, pretende-se avaliar o efeito de quatro agentes rejuvenescedores (ARs) – três bio-óleos à base de soja e um óleo convencional à base de petróleo – em ligantes asfálticos envelhecidos. Dois ligantes asfálticos envelhecidos em laboratório em diferentes níveis foram dosados com os ARs e tiveram suas propriedades reológicas medidas para determinação dos teores ótimos de cada AR.

### 1. INTRODUÇÃO

O uso de *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP) se tornou prática comum na construção de novas camadas asfálticas em diversos países. Além da redução de impactos ambientais, causados pela extração de materiais virgens, a reutilização das camadas asfálticas envelhecidas representa uma redução do custo de produção da mistura asfáltica quando comparado à construção com materiais novos (Li *et al.*, 2008; Copeland *et al.*, 2010). A utilização de material reciclado de mistura asfáltica ainda proporciona redução de descarte de resíduos e, conseqüentemente, redução da necessidade de espaço para disposição do material depois de retirado da pista.

Uma das limitações para se usar teores mais altos de RAP na produção de novas misturas asfálticas é a sua alta rigidez, decorrente do envelhecimento sofrido pelo ligante asfáltico. Devido ao processo de envelhecimento da mistura asfáltica a quente, tanto durante a usinagem quanto durante a vida útil do pavimento, o ligante asfáltico se torna rígido, quebradiço e, portanto, mais susceptível ao trincamento térmico e por fadiga, podendo levar o pavimento a apresentar defeitos prematuramente.

No processo de reciclagem da camada asfáltica, um dos componentes utilizados para restaurar as propriedades originais do ligante asfáltico é o agente rejuvenescedor (AR). Nesta pesquisa, pretende-se avaliar a influência de quatro agentes rejuvenescedores – três bio-óleos à base de soja e um óleo convencional à base de petróleo – em dois ligantes asfálticos de diferentes graus de desempenho envelhecidos em laboratório em curto e longo prazos nas estufas RTFO (Rolling Thin Film Oven) e PAV (Pressure Aging Vessel), respectivamente.

### 2. REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

A principal função dos ARs é fornecer ao ligante asfáltico envelhecido os componentes maltênicos perdidos durante o processo de oxidação e volatilização (Silva *et al.*, 2012; Shen *et al.*, 2007; Tao *et al.*, 2010; Asli *et al.*, 2012; Elseifi *et al.*, 2011; Zargar *et al.*, 2012). Os agentes de rejuvenescimento são recomendados quando elevados percentuais de RAP são utilizados. Diferentes estudos avaliaram o efeito do tipo de agente rejuvenescedor e sua

eficácia em restaurar propriedades dos ligantes asfálticos (Moghaddam e Baaj, 2016).

Exemplos de materiais já testados como AR são: resíduos de óleo vegetal, resíduos de graxa vegetal, extratos aromáticos, óleos orgânicos (Zaumanis *et al.*, 2014); óleos à base de petróleo (Ali *et al.*, 2016); resíduo de óleo de cozinha (Chen *et al.*, 2014) entre outros. Todos esses materiais foram capazes de, em diferentes teores, restaurar propriedades dos asfaltos envelhecidos em termos de resistência ao trincamento. Dentre os diversos tipos de agentes rejuvenescedores, os óleos orgânicos, de base vegetal e resíduos de óleos de plantas têm ganhado bastante atenção por pesquisadores recentemente: são os chamados bio-óleos.

Os bio-óleos como rejuvenescedores têm sido considerados uma alternativa promissora, principalmente por serem oriundos de fonte renovável, possuírem preços mais baixos e serem ambientalmente benéficos, do ponto de vista de redução de descarte de alguns materiais, garantindo pavimentos asfálticos sustentáveis (Zhang *et al.*, 2018; Lei *et al.*, 2015; Yang e You, 2015). Resíduos de óleos de cozinha (Zargar *et al.*, 2012), óleos de sementes de algodão (Chen *et al.*, 2014), óleo de semente de castanha de caju (Cavalli *et al.*, 2018) e óleo derivado de soja (Elkashaf *et al.*, 2017) são exemplos de bio-óleos que foram testados e tiveram sua eficácia como rejuvenescedor do asfalto envelhecido comprovada. Por terem um teor de voláteis relativamente alto, Ongel e Hugener (2015) concluíram que os bio-óleos são mais susceptíveis ao envelhecimento, já que esse processo ocorre mais rápido em um ligante rejuvenescido com bio-óleo do que em um ligante virgem.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste estudo, foram usados dois asfaltos puros, um PG 64-22 e um PG 70-16, e quatro agentes rejuvenescedores, sendo um agente convencional à base de petróleo (PB) e três bio-óleos à base de soja (SB1, SB2 e SB3). A principal diferença entre os bio-óleos está nas suas composições moleculares. As viscosidades rotacionais desses óleos foram medidas de acordo com a especificação ASTM D4402 na temperatura de 60 °C e os resultados em centipoise foram: 319,0 (PB), 313,9 (SB1), 310,3 (SB2) e 233,2 (SB3).

O envelhecimento dos ligantes asfálticos em laboratório foi feito na estufa RTFO, de acordo com a especificação ASTM D2872-12, e no PAV, conforme a ASTM D6521-18. Especificamente no caso do envelhecimento a longo prazo, foram adotados tempos de 20 e 40 horas (denominados PAV20 e PAV40, respectivamente) de modo a simular níveis de envelhecimento de longo prazo mais severos. Ao resíduo obtido no RTFOT foram adicionados 0, 5 e 10% de AR e aos resíduos obtidos no PAV foram adicionados 0, 10 e 20% de AR. Os asfaltos rejuvenescidos tiveram suas propriedades reológicas medidas e os resultados foram reportados como a média de duas réplicas, respeitando os limites de variabilidade recomendados pelas especificações ASTM.

A caracterização reológica dos ligantes asfálticos virgens, envelhecidos e rejuvenescidos foi realizada utilizando-se um reômetro de cisalhamento dinâmico (DSR) e o grau contínuo em altas temperaturas foi determinado com base nas medidas de módulo complexo ( $|G^*|$ ) e ângulo de fase ( $\delta$ ) obtidos segundo a especificação ASTM D 7175-15. O critério para definir o grau contínuo em altas temperaturas foi  $G^*/\sin(\delta) \geq 1,0$  kPa, já que se parte do pressuposto de que os ligantes rejuvenescidos são comparáveis a ligantes virgens.

Na caracterização reológica, também foi utilizada a compliância não-recuperável ( $J_{nr}$ ) do

ensaio de fluência e recuperação sob tensões múltiplas (MSCR), realizado conforme a ASTM D7405-16, a qual substituí o parâmetro  $G^*/\sin(\delta)$  na função de caracterizar os ligantes asfálticos em relação à sua tendência em acumular deformações permanentes. Este ensaio é realizado na temperatura alta do PG do pavimento em uma determinada região. Nesta pesquisa, empregou-se a temperatura de 64 °C, que é considerada a temperatura crítica para ocorrência de deformações plásticas em misturas asfálticas no Brasil, juntamente com a temperatura de 70°C (Cunha *et al.*, 2007).

Regressões lineares foram utilizadas para ajustar retas aos dados de grau contínuo e  $J_{nr}$  em função dos teores de AR e, por meio da equação da reta, definiu-se o teor ótimo de AR que trazia esses parâmetros ao nível de um ligante virgem. Para cada ligante, calcularam-se dois teores ótimos – um baseado no grau contínuo em altas temperaturas e outro baseado no parâmetro  $J_{nr}$  a 3,200 kPa a 64 °C. A média dos valores foi tomada como o teor ótimo de agente para cada ligante em cada um dos níveis de envelhecimento.

A presente pesquisa ainda está em desenvolvimento e a próxima etapa será a caracterização reológica dos ligantes rejuvenescidos nos teores ótimos de AR, sendo mensuradas as seguintes propriedades: viscosidade rotacional (ASTM D4402), classificação PG em altas e baixas temperaturas, tolerância à fadiga no ensaio de varredura de amplitude linear (AASHTO TP 101-14) e compliância não-recuperável do ensaio MSCR. Também será realizado o ensaio de espectroscopia no infravermelho, conforme a ASTM E168, a fim de caracterizar quimicamente os materiais e mensurar o nível de envelhecimento em termos de grupos funcionais, sulfóxidos (S=O) e carbonilas (C=O), presentes nas amostras.

#### 4. RESULTADOS PRELIMINARES

Na Tabela 1, são mostrados os teores ótimos calculados para os dois ligantes utilizados nos diferentes níveis de envelhecimento. Nota-se que o ligante de classe PG 70-16 requer menor teor de AR, o que pode ser explicado por originalmente conter menos voláteis, exigindo menor teor de óleo para repô-los. Dentre os tipos de agente usados, os óleos à base de soja apresentaram menores teores ótimos, podendo significar uma redução de custo, caso o custo destes seja comparável ao do óleo convencional (PB). Houve aumento significativo no teor ótimo de agente do nível RTFO para o PAV20, o que não ocorreu do nível PAV20 para o PAV40, mostrando que o aumento do tempo no PAV pouco influenciou o nível de envelhecimento dos asfaltos estudados. Por fim, o óleo SB3 resultou nos menores teores, o que leva a inferir uma relação direta do teor ótimo com a viscosidade do óleo.

**Tabela 1:** Teores ótimos (%) de agente rejuvenecedor para os dois ligantes asfálticos

| ligante asfáltico | tipo de agente | nível de envelhecimento |       |       |
|-------------------|----------------|-------------------------|-------|-------|
|                   |                | RTFO                    | PAV20 | PAV40 |
| PG 64-22          | PB             | 5,7                     | 13,0  | 15,0  |
|                   | SB1            | 5,2                     | 13,1  | 15,2  |
|                   | SB2            | 5,2                     | 13,3  | 15,1  |
|                   | SB3            | 4,5                     | 12,1  | 14,4  |
| PG 70-16          | PB             | 4,8                     | 10,8  | 12,6  |
|                   | SB1            | 3,9                     | 10,6  | 12,1  |
|                   | SB2            | 4,1                     | 10,3  | 12,3  |
|                   | SB3            | 3,7                     | 9,9   | 11,4  |

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ali, A. W., Y. A. Mehta, A. Nolan, C. Purdy e T. Bennert (2016) Investigation of the Impacts of Aging and RAP Percentages on Effectiveness of Asphalt Binder Rejuvenators. *Construction and Building Materials*, v. 110, p. 211–217.
- Asli, H., E. Ahmadiania, M. Zargar e M. R. Karim (2012) Investigation on Physical Properties of Waste Cooking Oil – Rejuvenated Bitumen Binder. *Construction and Building Materials*, v. 37, p. 398–405.
- Cavalli, M. C., E. M. Zaumanis, M. N. Partl e L. D. Poulidakos (2018) Effect of Ageing on the Mechanical and Chemical Properties of Binder from RAP Treated with Bio-Based Rejuvenators. *Composites Part B: Engineering*, v. 141, p. 174–181.
- Chen, M., F. Xiao, B. Putman, B. Leng e S. Wu (2014) High Temperature Properties of Rejuvenating Recovered Binder with Rejuvenator, Waste Cooking and Cottonseed Oils. *Construction and Building Materials*, v. 59, p. 10–16.
- Copeland, A., J. D’Angelo, R. Dongre, S. Belagutti, e G. Sholar (2010) Field Evaluation of High Reclaimed Asphalt Pavement - Warm-Mix Asphalt Project in Florida. *Transportation Research Record*, n. 2179, p. 93–101.
- Cunha, M. B.; J. E. Zegarra e J. L. Fernandes Jr (2007) Revisão da Seleção do Grau de Desempenho (PG) de Ligantes Asfálticos por Estado no Brasil. *Anais do XXI Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes*, ANPET, Rio de Janeiro.
- Elkashaf, M., J. Podolsky, R. C. Williams e E. Cochran, (2017) Preliminary Examination of Soybean Oil Derived Material as a Potential Rejuvenator through Superpave Criteria and Asphalt Bitumen Rheology. *Construction and Building Materials*, v. 149, p. 826–836.
- Elseifi, M. A., L. N. Mohammad e S. B. Cooper III (2011) Laboratory Evaluation of Asphalt Mixtures Containing Sustainable Technologies. *Association of Asphalt Paving Technologists* v. 80, p. 227–254.
- Lei, Z., H. Bahia e T. Yi-Qiu (2015) Effect of Bio-Based and Refined Waste Oil Modifiers on Low Temperature Performance of Asphalt Binders. *Construction and Building Materials*, v. 86, p. 95–100.
- Li, X., M. O. Marasteanu, R. C. Williams e R. T. Clyne (2008) Effect of RAP (Proportion and Type) and Binder Grade on the Properties of Asphalt Mixtures. *Transportation Research Record*, n. 2051, p. 90–97.
- Moghaddam, T. B. e H. Baaj (2016) The Use of Rejuvenating Agents in Production of Recycled Hot Mix Asphalt: a Systematic Review. *Construction and Building Materials*, v. 114, p. 805–816.
- Ongel, A. e M. Hugener (2015) Impact of Rejuvenators on Aging Properties of Bitumen. *Construction and Building Materials*, v. 94, p. 467–474.
- Shen, J., S. Amirkhanian, e B. Tang (2007) Effects of Rejuvenator on Performance-Based Properties of Rejuvenated Asphalt Binder and Mixtures. *Construction and Building Materials*, v. 21, p. 958–964.
- Silva, H. M. R. D., J. R. M. Oliveira, e C. Jesus (2012) Are Totally Recycled Hot Mix Asphalts a Sustainable Alternative for Road Paving? *Resources, Conservation and Recycling*, v. 60, p. 38–48.
- Tao, M., H. Xiaoming, Z. Yongli, e H. U. Bahia (2010) Compound Rejuvenation of Polymer Modified Asphalt Binder. *Journal of Wuhan University of Technology- Materials Science*, v. 25, n. 6, p. 1070–1076.
- Yang, X. e Z. You (2015) High Temperature Performance Evaluation of Bio-Oil Modified Asphalt Binders Using the DSR and MSCR Tests. *Construction and Building Materials*, v. 76, p. 380–387.
- Zargar, M., E. Ahmadiania, H. Asli, e M. R. Karim (2012) Investigation of the Possibility of Using Waste Cooking Oil as a Rejuvenating Agent for Aged Bitumen. *Journal of Hazardous Materials*, v. 233–234, p. 254–258.
- Zaumanis, M., Mallick, R. B., Poulidakos, L., & Frank, R. (2014). Influence of six rejuvenators on the performance properties of Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) binder and 100% recycled asphalt mixtures. *Construction and Building Materials*, Vol 71, pp 538-550.
- Zhang, R., Z. You, H. Wang, X. Chen, C. Si e C. Peng (2018) Using Bio-Based Rejuvenator Derived from Waste Wood to Recycle Old Asphalt. *Construction and Building Materials*, v. 189, p. 568–575.