



## **VIABILIDADE TÉCNICA DO USO DE ÓLEO DE XISTO NA COMPATIBILIZAÇÃO DE CIMENTO ASFÁLTICO COM BORRACHA DE PNEUS**

**Adalberto Leandro Faxina, MSc**  
**Manoel Henrique Alba Soria, DSc**

Departamento de Transportes  
Escola de Engenharia de São Carlos  
Universidade de São Paulo

### **RESUMO**

Cimento asfáltico e borracha de pneus são materiais, na maioria das vezes, de difícil compatibilização, exigindo a adição de produtos químicos que facilitem a dispersão e a incorporação da borracha, como, por exemplo, os óleos extensores. A presente pesquisa tem por objetivo verificar a hipótese de que o óleo de xisto, por se tratar de um óleo aromático, presta-se bem como óleo extensor de borracha, permitindo, inclusive, a adição de teores de borracha maiores que os normalmente incorporados aos cimentos asfálticos na ausência de óleos extensores. A tentativa de verificação de tais hipóteses será efetuada por meio de uma programação laboratorial englobando ensaios de caracterização física dos asfaltos-borracha, em cinco teores de borracha, produzidos com e sem óleo de xisto, e de concretos asfálticos usinados a quente (CAUQs) confeccionados com estes asfaltos-borracha. A caracterização física dos asfaltos-borracha será efetuada por meio de ensaios tradicionais (ponto de amolecimento, penetração, viscosidade Saybolt-Furol, ductilidade e ponto de fulgor) e da especificação Superpave (viscosidade rotacional, cisalhamento dinâmico, envelhecimento a curto e longo prazos, fluência na flexão e tração direta). Na caracterização mecânica dos CAUQs, serão empregados os ensaios de fadiga, de resistência à tração, de módulo de resiliência e de fluência por compressão uniaxial estática e dinâmica. Acredita-se que o uso do óleo de xisto, como já constatado para outros óleos extensores, possa melhorar as características dos asfaltos-borracha e, conseqüentemente, dos concretos asfálticos, possibilitando a incorporação de teores de borracha da ordem de 25% ao cimento asfáltico de base (CAP 40).

### **ABSTRACT**

Tire rubber's compatibility with asphalt cement, most of the time, is quite difficult, requiring the addition of chemical products which can ease rubber particles dispersion and incorporation, as, for example, the so called rubber extender oil. This research aims to verify the hypothesis that shale oil, which is an aromatic oil, works satisfactorily as a rubber extender oil, allowing the addition of tire rubber contents higher than those normally incorporated into the binders in the lack of extender oil. Such hypotheses will be verified through a laboratory program comprehending physical tests for asphalt-rubber binder characterization, using 5 different rubber contents, made with and without shale oil, and for hot mix asphalt-rubber concretes, using the same asphalt-rubber binders evaluated in the previous phase. Binder characterization will be done through conventional tests (softening point, penetration, Saybolt-Furol viscosity, ductility and flash point) and Superpave tests (rotational viscosity, dynamic shear, short and long aging, creep stiffness and direct tension). In order to assess mix mechanical behavior it will be performed the following tests: fatigue life, indirect tension, resilient modulus and static and dynamic uniaxial creep. It is believed that the use of shale oil, as it has been verified for other extender oils, can enhance asphalt-rubber physical properties and, as a consequence, enhance mix mechanical properties, allowing to add rubber contents about 25% to the base asphalt (AC 40).

### **1. RELEVÂNCIA DO TEMA**

A disposição inadequada de pneus inservíveis no meio ambiente é um problema que vem adquirindo vulto e despertando a atenção dos órgãos de defesa do meio ambiente e dos governos em âmbito mundial. Só nos Estados Unidos, o passivo ambiental ultrapassa dois bilhões de unidades, aos quais somam-se, anualmente, 285 milhões de pneus descartados (Brown *et al.*, 1997; Roberts *et al.*, 1998). No Brasil, o passivo ambiental chega a 900 milhões de unidades (Rocha Filho, 2001).

Quando dispostos em locais inadequados, os pneus descartados servem para procriação de mosquitos e outros vetores de doenças e representam risco de incêndio, que contamina o ar com fumaça tóxica (dióxido de enxofre) e também o solo e a água. Quando lançados em



aterros sanitários, diminuem a vida útil destes, pois dificultam a sua compactação. A trituração, que resolveria o problema da compactação, é um processo com custos elevados.

A incorporação de borracha de pneus às misturas asfálticas, via seca ou úmida, é uma alternativa promissora para a minimização dos problemas ambientais gerados pela disposição inadequada desses rejeitos. No Brasil, pesquisas sobre o emprego de borracha de pneus em pavimentação começaram a ser realizadas na década de 1990. Representam estudos isolados e em número reduzido, o que ressalta a necessidade e a importância do desenvolvimento de pesquisas mais amplas a fim de aprofundar o conhecimento desta tecnologia, considerando-se as características dos materiais de pavimentação disponíveis em nosso país.

Estudos indicam que a incorporação da borracha às misturas asfálticas pode levar ao aumento da resistência à fadiga, da resistência à derrapagem bem como ao retardamento de trincas por reflexão (Takallou e Sainton, 1992). Estudos indicam que pode ser obtido também aumento da resistência à deformação permanente e da resistência à ação da água. Outras potenciais vantagens (McQuillen Jr. *et al.*, 1988) incluem o aumento da durabilidade e da flexibilidade da camada asfáltica e a redução do ruído de rolamento.

Na produção do asfalto-borracha, pode-se empregar os denominados óleos extensores de borracha, cuja função é facilitar a incorporação da borracha moída ao cimento asfáltico, resultando um ligante asfalto-borracha de melhor qualidade. O fenômeno da incorporação da borracha envolve o consumo dos óleos aromáticos do cimento asfáltico, provocando aumento da viscosidade do produto final. A adição do óleo extensor pode corrigir a composição química do cimento asfáltico, levando a viscosidade do asfalto-borracha a níveis aceitáveis.

Acredita-se que a adição do óleo de xisto, comercialmente denominado AR-5, além de possibilitar uma melhor incorporação da borracha ao cimento asfáltico, possa também permitir a adição de borracha moída em teores acima dos normalmente empregados na produção do asfalto-borracha. Tal suposição motiva a realização desta pesquisa, pois, uma vez confirmada esta tese, seria tecnicamente viável a incorporação de níveis mais elevados de borracha ao cimento asfáltico, permitindo o reaproveitamento de mais pneus descartados. Do ponto de vista ambiental, a verificação desta tese representaria uma contribuição significativa para a diminuição do número de pneus dispostos inadequadamente no meio ambiente.

## **2. OBJETIVO**

Esta pesquisa tem por objetivo avaliar a influência do óleo de xisto sobre as propriedades físicas do asfalto-borracha e do concreto asfáltico empregando borracha incorporada pelo processo úmido. A caracterização do asfalto-borracha será feita por meio dos ensaios tradicionais (ponto de amolecimento, penetração, viscosidade Saybolt-Furol, ductilidade e ponto de fulgor) e da especificação Superpave: viscosidade rotacional, cisalhamento dinâmico, envelhecimento a curto prazo (RTFOT), envelhecimento a longo prazo (PAV), rigidez à fluência na flexão e tração direta. O comportamento mecânico dos concretos asfálticos será avaliado por meio dos ensaios de fadiga, de resistência à tração, de módulo de resiliência e de fluência por compressão uniaxial estática e dinâmica.

## **3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL**

A fim de alcançar os objetivos propostos, foram planejadas as etapas de preparação dos asfaltos-borracha, de caracterização destes por meio de ensaios tradicionais e da especificação



Superpave, de realização dos projetos de mistura por meio da dosagem Marshall e de execução dos ensaios de caracterização mecânica dos concretos asfálticos.

Na primeira fase, será feita, inicialmente, a caracterização da borracha de pneu e do óleo de xisto. Em seguida, será determinado o máximo teor de borracha possível de ser incorporado ao CAP 40, por meio apenas de ensaios de caracterização física do cimento asfáltico. Este teor máximo de borracha será obtido por tentativa, sendo que para cada teor de borracha testado, serão empregados cinco teores de óleo de xisto, a fim de se obter também o teor ótimo de óleo de xisto para o máximo teor de borracha a ser incorporado.

Posteriormente, de posse do máximo teor de borracha ( $x$ ), serão fixados os demais teores a serem empregados no estudo:  $3/4(x)$ ,  $2/4(x)$ ,  $1/4(x)$  e 0. Para cada teor de borracha fixado, serão testados cinco teores de óleo de xisto, a fim de se obter experimentalmente o teor ótimo de óleo, apenas com base em ensaios tradicionais e da especificação Superpave para caracterização física de cimentos asfálticos. Posteriormente, serão também preparados asfaltos-borracha nos teores de borracha especificados previamente sem adição de óleo xisto. Ao final, será efetuada a caracterização física completa dos asfaltos-borracha, nos cinco teores de borracha, sem óleo e com óleo em seus respectivos teores ótimos, a fim de se verificar o efeito do óleo de xisto sobre suas propriedades físicas.

Na segunda fase do projeto, serão realizados, inicialmente, os ensaios tradicionais e os da especificação Superpave para a caracterização do agregado mineral. Em seguida, serão realizadas as dosagens dos concretos asfálticos, empregando os asfaltos-borracha nos cinco teores de borracha sem óleo e com óleo em seus respectivos teores ótimos. Determinados os teores ótimos de ligante de cada um dos asfaltos-borracha, serão moldados corpos-de-prova Marshall para a execução dos ensaios propostos de caracterização mecânica das misturas.

#### 4. EXPECTATIVAS E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Espera-se, em princípio, que o óleo de xisto proporcione melhorias nas características físicas dos asfaltos-borracha e no comportamento mecânico dos concretos asfálticos, permitindo a incorporação de teores de borracha da ordem de 25% ao cimento asfáltico de base. Diversos estudos indicam que a adição de borracha ao cimento asfáltico pode melhorar o desempenho do ligante e do concreto asfáltico, assim como a adição de óleos extensores pode incrementar ainda mais este desempenho. Experiência anterior ressalta as boas propriedades mecânicas de misturas asfálticas empregando asfalto-borracha e óleo de xisto (Faxina, 2002).

A adição de borracha aos cimentos asfálticos proporciona, de forma geral, um aumento significativo no módulo complexo ( $G^*$ ) e redução do ângulo de fase ( $\delta$ ). Estes efeitos são favoráveis à resistência à deformação permanente, uma vez que indicam alta resistência à deformação e alta elasticidade. O aumento da elasticidade também é favorável ao aumento da resistência à fadiga. Os asfaltos-borracha geralmente apresentam valores de rigidez à fluência ( $S[t]$ ) menores que os verificados para a maioria dos cimentos asfálticos convencionais, sob baixas temperaturas. O efeito da borracha sobre o módulo de relaxação  $m([t])$  não é significativo. A borracha normalmente provoca aumento significativo da deformação e da tensão na ruptura (Bahia e Davies, 1994a; Bahia e Davies, 1994b; Bahia, 1995).

Vallerga *et al.* (1980), Salter e Rafati-Afshar (1987) e Epps (1994) indicam que a borracha aumenta a vida de fadiga do concreto asfáltico. Oliver (2000) aponta que a adição de óleo



extensor no asfalto-borracha promoveu um incremento de 20 mil ciclos na vida de fadiga para cada 1% de óleo adicionado. A borracha pode promover aumento ou diminuição do módulo de resiliência das misturas modificadas, em relação às de referência, embora, em geral, seja verificada diminuição (Epps, 1994). A borracha pode aumentar a resistência à deformação permanente (Krutz e Stroup-Gardiner, 1992; Hanson *et al.*, 1994; Leite *et al.*, 2000), diminuir (Maupin, 1992) ou fornecer resultados equivalentes (Epps, 1994) aos da mistura de referência. A resistência à tração das misturas modificadas com borracha é similar à das convencionais (Brown *et al.*, 1997; Hanson *et al.*, 1994) ou pode aumentar ou diminuir (Epps, 1994).

#### Agradecimentos

Ao Centro de Pesquisas (Cenpes) da Petrobras, Rio de Janeiro, RJ, e à SIX-Petrobras, São Mateus do Sul, PR, pelo apoio no planejamento deste projeto de pesquisa, e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pela concessão de bolsa de doutoramento ao primeiro autor e financiamento desta pesquisa.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bahia, H. U. (1995) Critical Evaluation of Asphalt Modification Using Strategic Highway Research Program Concepts. *Transportation Research Record*, n. 1488, p. 82-88.
- Bahia, H. U. e R. Davies (1994a) Effect of Crumb Rubber Modifiers (CRM) on Performance Related Properties of Asphalt Binders. *Association of Asphalt Paving Technologists*, v. 63, p. 414-438.
- Bahia, H. U. e R. Davies (1994b) Factors Controlling the Effect of Crumb Rubber on Critical Properties of Asphalt Binders. *Association of Asphalt Paving Technologists*, v. 63, p. 130-151.
- Brown, D. R.; D. Jared; C. Jones e D. Watson (1997) Georgia's Experience with Crumb Rubber in Hot-mix Asphalt. *Transportation Research Record*, n. 1583, p. 45-51.
- Epps, J. A. (1994) Uses of Recycled Rubber Tires in Highways. *NCHRP Synthesis of Highway Practice*, n.198, 162 p.
- Faxina, A. L. (2002) *Estudo em Laboratório do Desempenho de Concreto Asfáltico Usinado a Quente Empregando Ligante Tipo Asfalto-borracha*. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 274 p. + apêndices.
- Hanson, D.I.; K. Y. Foo; E. R. Brown e R. Denson (1994) Evaluation and Characterization of a Rubber-modified Hot Mix Asphalt Pavement. *Transportation Research Record*, n. 1436, p. 98-107.
- Krutz, N. C. e M. Stroup-Gardiner (1992) Permanent Deformation Characteristics of Recycled Tire Rubber-modified and Unmodified Asphalt Concrete Mixtures. *Transportation Research Record*, n. 1339, p. 38-44.
- Leite, L. F. M.; L. M. G. Motta; L. B. Bernucci e J. B. Soares (2000) Mechanical Behavior of Asphalt Rubber Mixes Prepared in Laboratory. *Anais do Asphalt Rubber 2000 Conference*, Vilamoura, Portugal, p. 309-318.
- Maupin, G. W. (1992) Virginia's Experimentation with Asphalt Rubber Concrete. *Transportation Research Record*, n. 1339, p. 9-15.
- McQuillen Jr., J. L.; H. B. Takallou; R. G. Hicks; D. Esch (1988) Economic Analysis of Rubber-modified Asphalt Mixes. *Journal of Transportation Engineering*, v. 114, n. 3, Maio, p. 259-277.
- Oliver, J. (2000) Rutting and Fatigue Properties of Crumbed Rubber Hot Mix Asphalts. *Anais do Asphalt Rubber 2000 Conference*, Vilamoura, Portugal, p. 221-240.
- Roberts, F. L.; P. S. Kandhal; E. R. Brown; D-Y. Lee e T. W. Kennedy (1998) *Hot mix asphalt materials, mixture design and construction*. Lanham, NAPA Educacional Foundation.
- Rocha Filho, M. F. (2001) *Vai Começar a Reciclagem de Pneus no País*. <http://www.estadao.com.br/ciencia/noticias/2001/dez/12/61.htm>. (consultado em 12.12.2001).
- Salter, R. J. e F. Rafati-Afshar (1987) Effect of Additives on Bituminous Highway Pavement Materials Evaluated by the Indirect Tensile Test. *Transportation Research Record*, n. 1115, p. 183-195.
- Takallou, H. B. e A. Sinton (1992) Advances in Technology of Asphalt Paving Materials Containing Used Tire Rubber. *Transportation Research Record*, n. 1339, p. 23-29.
- Vallerga, W. B.; G. R. Morris; J. E. Huffman e B. J. Huff (1980) Applicability of Asphalt-rubber Membrane in Reducing Reflection Cracking. *Association of Asphalt Paving Technologists*, v. 49.

#### Endereço dos autores:

Adalberto Leandro Faxina	Doutorando	<a href="mailto:alfaxina@sc.usp.br">alfaxina@sc.usp.br</a>	(16) 273 9613
Manoel Henrique Alba Sória	Professor Livre-docente	<a href="mailto:mane@sc.usp.br">mane@sc.usp.br</a>	(16) 273 9593

Departamento de Transportes – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo  
Av. Trabalhador Sancarlense, 400, Centro, 13566-590, São Carlos, SP, Brasil, telefone: (16) 273 9601, fax: (19) 273 9602, site: [www.stt.eesc.sc.usp.br](http://www.stt.eesc.sc.usp.br)