

ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DO ASFALTO MODIFICADO COM BORRACHA TRITURADA DE PNEU NO BRASIL

Erick Kalil, Graduação Superior¹, Luiz Daniel Miranda de Oliveira, Especialista em Engenharia Rodoviária ², e Vitor Soares Ferreira, Graduação Superior¹

¹ Faculdade Brasileira – Vitória, Brasil, erick.kalil@gmail.com, vitorsoaresferreira@gmail.com

² UFES – Vitória, Brasil, luizdanielmo@gmail.com

RESUMO- *O alto fluxo de veículos que transita pelas rodovias do Brasil sugere cada vez mais a utilização de melhores materiais para pavimentação, resultando em desenvolvimento do sistema rodoviário e maior conforto e segurança aos usuários. Neste quesito, o asfalto borracha apresenta-se como excelente alternativa de maior resistência ao pavimento e melhor desempenho em longo prazo. Suas características remetem ao retardo da reflexão de trincas na pista e por isso maior durabilidade ao pavimento, além de destinar sustentavelmente os pneus inservíveis. Este trabalho aponta uma análise da utilização do asfalto borracha nas rodovias do Brasil, mapeando os principais trechos recapeados e a finalidade de seu uso. O estudo fundamenta-se no histórico do material no país e na verificação dos responsáveis por seus testes e aplicação, além de projetar um cenário futuro próximo para essa prática de pavimentação.*

Palavras-chave: *Rodovias do Brasil, asfalto borracha, pavimento.*

I. INTRODUÇÃO

No Brasil o modal rodoviário é a via de locomoção mais utilizada para transporte de cargas e pessoas, e por isso tem uma grande influência na economia em vários setores do país. Porém, vem sofrendo muito com a baixa qualidade das estradas e rodovias, que é causada pela falta de manutenção adequada e pela ineficácia na fiscalização por parte de autoridades e órgãos competentes, além da sua pequena malha rodoviária (CNT, 2010).

Visando a melhoria desse quadro, algumas pesquisas sobre novos tipos de asfalto começaram a ser desenvolvidas. Esse desenvolvimento foi trazido ao Brasil em 2001, com o produto asfalto borracha, que consiste na mistura do pó de borracha com um ligante, como mencionado no livro da Greca Asfaltos (2006) referente ao ‘Estudo comparativo do desempenho de um recapeamento utilizando asfalto

II. EMBASAMENTO TEÓRICO

A ideia da pavimentação de estradas começou a ser mais visada e teve maior investimento na Europa, somente no século XVIII, época de grandes avanços tecnológicos que facilitaram a dissipação da ideia de melhores vias para comercialização (BERNUCCI et al., 2008).

borracha’. Essa mistura é incorporada ao cimento asfáltico e serve para a utilização em segmentos de pavimentação.

Testes e segmentos experimentais começaram a ser realizados por empresas especializadas na fabricação desse material, e o novo produto mostrou-se muito satisfatório com relação ao retardo da reflexão de trincas na pista. Durante os ensaios, “as trincas se refletiram no recapeamento com asfalto modificado por pó de borracha de pneus cinco a seis vezes mais lentamente do que no recapeamento em concreto asfáltico convencional”. (CERATTI et al., 2006). Ou seja, quando comparado ao asfalto convencional, o asfalto-borracha retarda o envelhecimento do pavimento. Por isso, tem um gasto muito menor com manutenção preventiva e melhora a qualidade dos asfaltos nas rodovias, além de diminuir consideravelmente o problema do descarte de pneus inservíveis.

A propósito, a descoberta do ligante asfalto-borracha resultou de pesquisas nos Estados Unidos da América (EUA), há 50 anos, relacionadas à destinação de pneus inservíveis, com ênfase em ligantes asfálticos alterados com borracha triturada de pneus (ODA; JÚNIOR, 2001). Sabe-se que o pneu é um material incapaz de ser decomposto naturalmente, sendo comumente depositado em aterros sanitários, lixões, rios e córregos. Desta forma, a destinação adequada dos pneus inutilizáveis é de fundamental relevância, e o uso desse insumo em ligantes asfálticos apresenta-se como uma opção oportuna.

Diante dos aspectos que foram abordados esse trabalho visa mostrar o cenário atual que envolve a utilização do asfalto borracha no Brasil, bem como a contribuição desse material na melhoria da qualidade das rodovias, resultando na diminuição dos problemas com manutenção.

Com âmbito no Brasil, essa ideia teve força no sul do país com o desenvolvimento da cultura do café, em meados do século XIX. A necessidade de comercializar esse produto pelo território nacional, especialmente na região sudeste com destino aos portos de exportação, foi a principal causa da construção de estradas de ferro para acesso (SENÇO, 2008). A prática de comercialização do café permaneceu evidente durante várias décadas e com isso o número de ferrovias

aumentou significativamente, dando-se início ao surgimento de grandes vias ligando os vários estados e regiões do Brasil.

Tempos mais tarde, no século XX, houve o aparecimento de novos materiais e métodos construtivos, como o macadame hidráulico, que consistia no subleito à base de cascalho para construção de estradas de terra. Adiante vieram as misturas asfálticas com a função de revestimento, uma técnica mais sofisticada de execução, para por fim encontrar no concreto de cimento Portland uma ótima opção para pavimentar estradas, a fim de atender a demanda de comércio gerada pelo desenvolvimento do país (BALBO, 2007).

O pavimento é uma estrutura dividida em camadas bem definidas com distintos materiais adensados desde o subleito, reforço de subleito, passando pela sub-base e base até chegar ao revestimento, que é a camada superior. Todos esses níveis têm por funções fazer com que a estrutura suporte os esforços oriundos do tráfego e que resultem em traçados que proporcionem conforto e segurança aos usuários. De um modo geral, as camadas superiores resistem a maiores cargas e as dissipam para as camadas inferiores, por isso se deve levar em consideração a resistência específica de cada nível com intuito de manter o equilíbrio previsto em cálculo, a fim de evitar trincas, infiltrações e maiores problemas (BALBO, 2007).

Segundo Balbo (2007), por ser a primeira camada, o revestimento tem por finalidade receber as cargas evitando as deformações, para isso os materiais devem estar bem aglomerados de modo a impedir movimentos provocados por esforços cisalhantes. Existem vários tipos de materiais para revestimentos, dentre os quais se encontra o Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP), obtido a partir da fabricação do petróleo usado para aderir os agregados.

Com o objetivo de melhorar as características do CAP, passaram a serem adicionados polímeros termoplásticos em sua composição, resultando em um aumento de aderência, redução da sensibilidade à temperatura, diminuição da fluência, redução do aparecimento de fissuras, fadigas e deformações, dentre outros (BALBO, 2007). Entretanto, para esse processo dar um retorno que atenda às expectativas, é necessário um acompanhamento rígido no método de fabricação, bem como a procedência do polímero. Dentre os tipos de asfaltos modificados com polímeros, encontram-se os Asfaltos Diluídos de Petróleo (ADP), Emulsões Asfálticas de Petróleo (EAP) e o CAP modificado por adição de borracha triturada.

As primeiras formas de modificação do asfalto com borracha ocorreram em meados do século XX na Europa, entretanto, o avanço das pesquisas foi interrompido com o aparecimento da Segunda Guerra Mundial. O retorno da utilização deste material deu-se nos EUA na década de 60, com o propósito de recapeamento das pistas (SPECHT, 2004, p.47). Os resultados satisfatórios dessa experiência fizeram com que as pesquisas fossem se intensificando, chegando ao ponto de que atualmente ainda está em vigor uma lei americana (Public Law 102-240, 1991) que obriga os Departamentos de Transportes Estaduais e a Agência de

Proteção Ambiental a desenvolverem estudos para utilização de borracha moída de pneus em obras de pavimentação, fazendo com que o uso desse material, a partir de 1994, aumentasse significativamente seguidos anos (ODA et al., 2001).

“O ligante asfalto-borracha consiste da mistura de borracha de pneus moída e material asfáltico (CAP)” (FERRARA, 2006), e a durabilidade nesse tipo de asfalto modificado é o dobro da encontrada em pavimentos com o asfalto convencional, retardando na reflexão de trincas até três vezes mais (GRECA ASFALTOS, 2006). Constatou-se também que este tipo de material apresenta maior viscosidade, resistência à luz solar, intempéries, adesividade e maior poder impermeabilizante, resultando em um maior atrito entre pneu e o pavimento e reduzindo o número de acidentes (MENDES; NUNES, 2009). Por outro lado, o custo para a aquisição do asfalto é maior e deve-se manter uma temperatura mais elevada para a usinagem e a compactação, além de ser necessário um controle tecnológico muito mais rigoroso em todas as fases, desde a fabricação até a aplicação (ODA et al., 2001).

Outro ponto relevante do asfalto borracha é a utilização de pneus triturados como insumo. Além de dar ao pneu inservível destino adequado, visto que o descarte desse material muitas vezes é de forma incorreta, depositado em beira de rios e córregos ou em outros lugares impróprios, a produção do asfalto borracha gera economia de petróleo, cerca de 14 milhões de reais para cada mil quilômetros asfaltados (REVISTA PINI, 2011), sendo que para cada quilômetro são utilizados 600 pneus. Por esses motivos o asfalto ecológico, como também é chamado, mostra-se como um relevante meio de descarte de pneus e serve como inteligente forma de reciclagem.

III. METODOLOGIA

O artigo presente refere-se à pesquisa qualitativa, efetuado através de relato de experiência, considerando as reações do asfalto borracha às patologias das pistas bem como seus benefícios frente ao asfalto convencional, e análise de sua utilização no Brasil.

Empregam-se conteúdos existentes como principal forma de julgamento dos dados, atrelados a conhecimentos prévios adquiridos no curso de engenharia civil. Informações coletadas de livros e revistas técnicas, artigos, dissertações, manuais e normas, como a DNIT 111/2009 – EM e a DNIT 112/2009 – EM.

Dados coletados pela empresa fornecedora do asfalto borracha, Greca Asfaltos, que também realiza testes. Levantamento dos trechos de rodovias que foram recapeadas com esse material no Brasil nos últimos 15 anos, analisando a importante rodovia BR-040 que liga a cidade do Rio de Janeiro a Juiz de Fora (Minas Gerais), que é concedida pela Concer, e justificar o recapeamento em determinados locais.

Visita ao Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) e ao Departamento de Estradas de

Rodagem (DER) do Espírito Santo junto a profissionais capacitados e especializados na área da engenharia rodoviária, para coleta de informações a respeito da utilização do asfalto borracha em rodovias brasileiras. Análise do estudo, comparando os resultados obtidos com os teóricos e a expectativa do uso futuro desse material.

IV. RELATO DE EXPERIÊNCIA

Com o passar do tempo, os pavimentos apresentam degradações devido a diversos fatores como intempéries, resistência das camadas em função da qualidade dos insumos utilizados para sua construção, volume do tráfego em questão e as cargas exercidas pelos veículos que trafegam (FONTES, 2009). Dentre as patologias resultantes dessa degradação, a reflexão de trincas na pista, fenda existente no revestimento com abertura superior à da fissura, é uma das mais recorrentes nas rodovias. Ainda segundo Fontes (2009), essas trincas podem ser classificadas como isoladas, quando ocorrem as primeiras reflexões, ou em bloco, quando o pavimento já demonstra estado avançado de degradação e resulta no encontro e união de várias trincas.

Nesse quesito, o asfalto borracha mostra-se como ótima opção para utilização em rodovias sujeitas a maiores fatores de degradação, visto que uma de suas principais características é o retardamento da reflexão de trincas. Para ter a mesma densidade de trincamento em análise de centímetro por metro quadrado (cm/m²), é necessário um esforço muito maior no asfalto borracha (AR) do que no asfalto convencional (AC) (GRECA ASFALTOS, 2006), como ilustra a Figura 1.



Figura 1 - Evolução do trincamento para o AC e o AR.
Fonte: Empresa responsável pelos testes.

Outra patologia comum resultante da degradação nos pavimentos são as deformações permanentes, causadas pelo esforço de cisalhamento oriundo do constante contato entre os pneus de veículos pesados e o pavimento, gerando um deslocamento do revestimento sem alterar seu volume (SOUZA et al., 1994). Esse fenômeno ocorre nos trajetos, chamados de trilhas de rodas, justamente por onde passam os veículos pesados, causando afundamentos nas trilhas de roda (ATR). Desta forma, para o mesmo ATR gerado em milímetros, o AR suporta um carregamento muito maior do

que o AC (GRECA ASFALTOS, 2006), de acordo com a Figura 2.

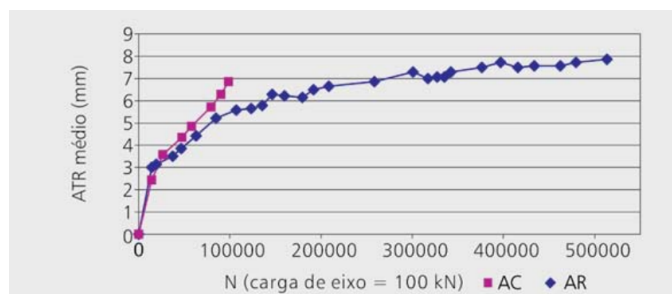


Figura 2 - Comparação do ART médio para o AC e o AR.
Fonte: Empresa responsável pelos testes.

Essas e outras características do asfalto borracha lhe garantem vantagens em relação ao asfalto convencional, como maior durabilidade do pavimento, e condiz com o que afirma Wickboldt (2005, p.32).

A borracha constituinte do pneu possui excelentes propriedades físico-químicas para ser incorporada ao ligante convencional, trazendo uma série de melhorias que se refletem diretamente na durabilidade do pavimento, a saber: a incorporação de agentes antioxidantes e inibidores de ação de raios ultravioleta que diminuem, sensivelmente, o envelhecimento do CAP, o aumento da resistência à ação química de óleos e combustíveis, a diminuição da suscetibilidade térmica, o aumento da deformação de tração admissível (melhorando o comportamento à fadiga), aumento da deformação elástica instantânea e a diminuição da deformação permanente (ângulo de defasagem).

Sendo assim, por oferecer ao pavimento maior durabilidade, o asfalto adicionado com o ligante borracha tem um desgaste menor se comparado ao asfalto convencional, quando exigidos pelos mesmos esforços decorrentes do fluxo de veículos. Isso faz com que esse tipo de revestimento apresente, futuramente, menores gastos com manutenção preventiva da rodovia, diminuindo o número de interdições, que causariam aumento do congestionamento e desconforto aos usuários (SANCHES et al., 2012). Nesse caso, para se obter as qualidades referidas, deve-se obedecer a norma do DNIT 111/2009 - EM, que estabelece o teor mínimo de 15% de borracha adicionada ao ligante asfáltico e impõe a verificação dos resultados dos ensaios em detrimento com os limites indicados no referido normativo.

Outro requisito necessário para a produção do AR, segundo Oda et al., (2001), é a sua usinagem em temperaturas mais elevadas, que se justifica por manter o material com viscosidade suficiente para aplicá-lo junto aos agregados (brita e pó de brita), sendo de algo em torno de 175°C. As especificações de serviço referentes à execução do asfalto borracha, bem como a citação das demais normas para

métodos e ensaios, constam na norma do DNIT 112/2009 – ES. O parâmetro da viscosidade, por sua vez, está relacionado à capacidade de resistência que um fluido possui para evitar alterações em sua forma, quando submetido a esforços de cisalhamento. A restrição por altas temperaturas na usinagem do asfalto borracha e sua sensibilidade a variações comprovam, portanto, sua dificuldade de aplicação.

Além disso, por ter em sua composição como diferencial de um asfalto convencional o ligante borracha que é extraído da trituração de pneus, esse tipo de asfalto agrega em seus insumos e aplicação da massa na pista maiores custos para execução (GRECA ASFALTOS, 2009), decorrente de seu elevado preço. Em consulta ao site da Universidade Tecnológica Federal do Paraná obtiveram-se esses valores que, comparados, apontam um aumento em cerca de 40% para o AR. Todavia, após a realização de testes em dois trechos de pista em Curitiba por Sanches et al., (2012), observou-se que, para um mesmo período de tempo, houve a necessidade de manutenção de 70% do revestimento no trecho com asfalto convencional, e 10% do revestimento no trecho com asfalto borracha. Ou seja, somados os valores de custo inicial com o custo de manutenção, o asfalto com borracha mostrou-se mais vantajoso, como ilustra a Figura 3.

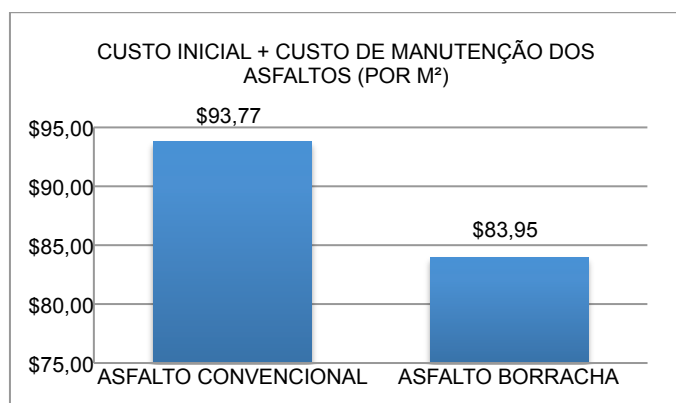


Figura 3 - Comparação: custo inicial + custo de manutenção dos asfaltos.
Fonte: Site oficial da Universidade Tecnológica do Paraná.

As análises mostradas anteriormente apontam razões que justificam a utilização do asfalto borracha visando benefícios em longo prazo. Nesse âmbito, as concessionárias rodoviárias vislumbram esse material como excelente alternativa para conservação das pistas, visto que, com menores intervenções de manutenção, seus lucros aumentariam. A utilização desse insumo, juntamente com sua correta execução, resultará em um produto final de qualidade para os usuários, mantendo os parâmetros previstos no Manual de Projeto e Práticas Operacionais para Segurança nas Rodovias. Esse, fruto da tradução do “Highway Safety Design and Operations Guide – AASHTO – 1997”, acrescido de recomendações técnicas mais atuais e do histórico rodoviário do Brasil, relata as causas dos problemas nas rodovias, como dimensões dos veículos e congestionamentos, e as ações necessárias para evitá-los.

Desse modo, tomando como base a maioria dos segmentos no Brasil recapeados com asfalto borracha no período de 2001 a 2016, constatou-se uma abrangente presença das concessionárias nessas atividades. Dos 39 trechos citados na Figura 4, cerca de 70% deles foram feitos por concessão, o que remete a um planejamento de administração que reduzirá custos com manutenção nos locais aplicados.

ANO	CONTRATANTE	LOCALIZAÇÃO TRECHOS	TIPO DE OBRA
2001	Concessionária Univia - RS	BR/116-RS	Implantação
2001	Concessionária Rodonorte - PR	PR/90	Implantação
2002	Concessionária Rodonorte - PR	BR/376-RS	Implantação
2002	Concessionária Intervias - SP	SP/330	Implantação
2002	Concessionária Rodonorte - PR	BR/277-PR	Implantação
2002	Concessionária Ecovias - SP	SP/150	Implantação
2002	Concessionária Viapar - PR	BR/376-RS	Implantação
2002	Concessionária Rodovia das Cataratas Viapar	BR/277-PR	Implantação
2002	Prefeitura Municipal de Curitiba	Run David Tows-Xaxin	Implantação
2002	Concessionária Viapar - PR	BR/376-PR	Implantação
2002	Diversos	Aplicações diversas	Restauração
2002	Concessionária Ecovias Caminho do Mar - PR	BR/277-PR	Implantação
2002	Colinas	SP/075	Implantação
2002	Colinas	SP/075	Implantação
2003	Concessionária Univia - RS	BR/386-RS	Implantação
2003	Concessionária Rodonorte - PR	Diversos segmentos	Restauração
2003	Concessionária Intervias - SP	Diversos segmentos	Implantação
2003	Concessionária SPVias - SP	SP/280	Restauração
2003	Concessionária Ecovias Caminho do Mar - PR	BR/373 e BR/227-PR	Implantação

2003	Concessionária Ecovias - SP	SP/059	Implantação
2003	Concessionária Ecovias - SP	SP/160	Implantação
2003	Conter Construções e Comércio S. A.	SP/055	Implantação
2004	SPVias, Concepa, Rodonorte e outras	Diversos segmentos	Restauração
2004	DER	Diversos segmentos	Restauração
2005	Colinas	SP/127	Implantação
2006	Concessionária Ecovias - SP	SP 150	Implantação
2006	Concessionária Ecovias - SP	SP/160	Implantação
2010	Prefeitura Municipal de Florianópolis	Avenida Beira Mar Norte	Recapamento
2011	DER-RJ	RJ/122	Restauração
2011	Usina Hidrelétrica de Itaipu	Vias internas da usina	Recapamento
2011	Prefeitura Municipal de Santa Catarina	SC/480	Restauração
2014	DER-RJ	RJ/145	Implantação
2014	DER-RJ	RJ/220	Restauração
2014	Usina Hidrelétrica de Itaipu	Vias internas da usina	Recapamento
2015	DER-RJ	RJ/125	Implantação
2015	DER-RJ	RJ/186	Implantação
2016	DER-RJ	RJ/151	Restauração
2003	Concessionária Ecovias - SP	SP/059	Implantação

FREQÜÊNCIA:	CONCESSIONÁRIAS:	ÓRGÃOS PÚBLICOS:
71,80%	28,20%	

Figura 4 - Levantamento da utilização do asfalto borracha no Brasil nos últimos 15 anos.

Fonte: Responsáveis pelas execuções – Adaptado.

Uma importante rodovia que também foi recapeada com asfalto borracha é a BR-040, uma rodovia federal radial de intenso tráfego que corta os estados de Goiás, Minas Gerais e Rio de Janeiro, passando pelos trechos Brasília – Três Marias – Belo Horizonte – Barbacena – Juiz de Fora – Três Rios – Rio de Janeiro (Praça Mauá), com extensão total de 1139 km

(DNIT, 2015). A Companhia de Concessão Rodoviária Juiz de Fora-Rio (Concer) é a responsável pela administração de 180 km da rodovia, na extensão que liga Minas Gerais ao Rio de Janeiro, e os trechos executados com borracha foram entre os quilômetros 45 a 82 e 799 a 810 (REVISTA CNT TRANSPORTES, 2006). Ambos os trechos estão situados em localidades sujeitas a congestionamentos e por isso submetidos a grandes concentrações de cargas dos veículos, visto que o primeiro encontra-se próximo a uma praça de pedágio e o segundo está entre um posto de pesagem e uma praça de pedágio, informações estas retiradas do site da Concer. Como já foi explicado, o asfalto borracha responde melhor a maiores esforços e apresenta, em longo prazo, ganhos com durabilidade e redução significativa com manutenção da pista, favorecendo também a logística desses locais.

Ainda que em crescente utilização se comparado ao início dos anos 2000, percebe-se que o asfalto borracha não está tão presente nas rodovias brasileiras, visto que se encontra somente em alguns trechos. Os valores encontrados na Revista Pini (2011) mostram que para a pequena malha de rodovias pavimentadas no Brasil, algo em torno de 170 mil quilômetros, apenas oito mil possuem trechos pavimentados com borracha, o que equivale percentualmente a 5%.

Em conversa com profissionais do DNIT de Vitória – ES e do DER – ES, constatou-se que o principal entrave de órgãos públicos com relação à utilização do asfalto borracha no Brasil é justamente seu custo inicial. Esse custo, como já foi explicado, remete a usinagem do material em temperaturas mais altas e seu maior cuidado na aplicação, que reduz a produção. Outro complicador é que a maioria dos órgãos não possui em suas tabelas de custos unitários o valor referente ao ligante borracha, o que prejudica a licitação de obras com esse tipo de material.

CONCLUSÃO

O estudo realizado mostrou que o asfalto borracha não é largamente utilizado nas rodovias do Brasil, visto que ainda é um material muito novo no mercado, com poucas pesquisas e testes realizados. Entretanto, as empresas produtoras como a Greca Asfaltos e algumas concessionárias rodoviárias como a Concer tem investido em trechos experimentais, e as análises feitas nos locais tem sido muito satisfatórias.

O material em questão apontou excelentes resultados nos parâmetros vinculados à resistência previstos na norma DNIT 111/2009 – EM, como diminuição da reflexão de trincas na pista, menor deformação permanente e maior durabilidade. Desta forma, o desgaste do pavimento é menor e o custo com manutenção no futuro irá reduzir, sendo esse um dos grandes desafios dos responsáveis pela administração das rodovias.

No entanto, o interesse na aplicação do asfalto borracha tem se dado em maioria por parte das concessionárias, justamente por vislumbrarem boas possibilidades de conservação das pistas principalmente em trechos solicitados a maiores carregamentos. Os órgãos públicos, por suas vezes,

não investem na atividade por não terem em suas tabelas de insumos a composição unitária do material, e o maior custo inicial para execução inviabiliza as licitações.

Apesar de alguns contras e do cenário atual, a expectativa futura para o uso do asfalto borracha no Brasil é de crescimento pelas partes privada e pública decorrente dos ganhos técnicos e econômicos (em longo prazo) que o material oferece, além de se apresentar como alternativa sustentável no descarte de pneus inservíveis.

REFERÊNCIAS

- [1] BALBO, J. T. Pavimentação Asfáltica – Materiais, Projetos e Restauração. São Paulo: Oficina de Textos, 2007;
- [2] BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L. M.; CERATTI, J. A.; SOARES, J. B. Pavimentação Asfáltica. 3. Ed. Rio de Janeiro: Petrobrás Asfalto, 2008;
- [3] CERATTI, J. A.; NÚÑEZ, W. P.; CRUZ, L. L.; WICKBOLT, V. S. Estudo Comparativo do Desempenho de um Recapeamento Utilizando Asfalto-Borracha. 1. Ed. Porto Alegre: Greca Asfaltos, 2006. 76p;
- [4] CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTES – CNT. Pesquisa CNT de Rodovias 2010. Disponível em:
[5] <<http://www.sistemaent.org.br/pesquisacntrodovias/2010/>>. Acesso em: 10/03/2016;
- [6] DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT NORMA 111/2009 – EM: Pavimentação Flexível – Cimento asfáltico modificado com borracha de pneus inservíveis pelo processo via úmida do tipo “Terminal Blending” – Especificação do material. Rio de Janeiro, 2009.
- [7] DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT NORMA 112/2009 – ES: Pavimentos Flexíveis – Concreto asfáltico com asfalto borracha, via úmida, do tipo “Terminal Blending” – Especificação de serviço. Rio de Janeiro, 2009.
- [8] FAXINA, A. L. Estudo da Viabilidade Técnica do Uso do Resíduo de Óleo Xisto Como Óleo Extensor em Ligantes Asfalto-Borracha. 2006. Disponível em:
<<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18137/tde-29052007-170231/pt-br.php>>. Acesso em: 12/03/2016;
- [9] FERRARA, R. D. Estudo Comparativo do Custo x Benefício Entre o Asfalto Convencional e o Asfalto Modificado Pela Adição de Borracha Moída de Pneu. 2006. Disponível em:
<<http://engenharia.anhemi.br/tcc-06/civil-57.pdf>>. Acesso em: 28/03/2016;
- [10] FONTES, L. P.; TRICHÊS, G.; PEREIRA, P.; PAIS, J. C. Comportamento à fadiga e à Deformação Permanente de Misturas Asfálticas Confeccionadas com Asfalto-Borracha. 2008. Disponível em:
<<http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/17217>>. Acesso em: 12/03/2016;
- [11] FONTES, L. P. T. L. Otimização do Desempenho de Misturas Betuminosas com Betume Modificado com Borracha para Reabilitação de Pavimentos. 2009. Disponível em:
<<http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/9601>>. Acesso em 07/10/2016.
- [12] MENDES, C. B. A.; NUNES, F. R. Asfalto Borracha – Minimizando os impactos ambientais gerados pelo descarte de pneus inservíveis no meio ambiente. 2009.
- [13] ODA, S.; JÚNIOR, J. L. F. Borracha de Pneus Como Modificador de Cimentos Asfálticos Para Uso em Obras de Pavimentação. 2001. Disponível em:
<<http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciTechnol/article/view/2804>>. Acesso em: 12/03/2016;
- [14] SANCHES, F. G.; GRANDINI, F. H. B.; JUNIOR, O. B. Avaliação da Viabilidade Financeira de Projetos com Asfalto Borracha em Relação ao Asfalto Convencional. Curitiba, 2012. Disponível em:
<http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/750/1/CT_EP_C_2012_1_11.PDF>. Acesso em 07/10/2016.
- [15] SENÇO, W. Manual de Técnicas de Projetos Rodoviários. 1. Ed. São Paulo: Pini, 2008;
- [16] SOUSA, J.B. “Development and Use of the Repeated Shear Test (Constant Height): An Optional Superpave Mix Design Tool”. Washington DC, 1994. Disponível em:
<<http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/shrp/SHRP-A-698.pdf>>.
- [17] Acesso em 15/10/2016.
- [18] SPECHT, L. P. Avaliação de Misturas Asfálticas com Incorporação de Borracha Reciclada de Pneu. Porto Alegre, 2004

