

Análise comparativa entre asfalto modificado com borracha reciclada de pneus e asfalto modificado com polímeros

Comparative analysis between modified asphalt with recycled rubber of tires and modified asphalt with polymer

Ana Paula Gonçalves Rosa

*Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT, Sinop, MT
e-mail: paula_goncalvesrosa@hotmail.com*

Roberto Aguiar dos Santos

*Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT, Sinop, MT
e-mail: eng.roberto@unemat-net.br*

Flavio Alessandro Crispim

*Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT, Sinop, MT
e-mail: crispim@unemat-net.br*

Rogério Dias Dalla Riva

*Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT, Sinop, MT
e-mail: rogerioriva@yahoo.com.br*

RESUMO: O presente artigo tem por objetivo dar um destino adequado ao pó de borracha resultante da recauchutagem de pneus e apresentar um estudo comparativo entre asfaltos modificados com borracha reciclada de pneus e asfaltos modificados com polímero SBS. A metodologia de ensaio adotada foi baseada em literatura específica, visando verificar as alterações físicas no ligante asfáltico, mediante a adição de borracha e polímero em processo úmido. Tomando como referência os resultados encontrados para a amostra de asfalto convencional, a mistura asfalto-polímero resultou em aumento na penetração e no ponto de amolecimento, respectivamente, e redução no ponto de fulgor. Considerando os resultados obtidos, verificou-se que os mesmos ficaram dentro das especificações, indicando a viabilidade da incorporação da borracha resultante da recauchutagem de pneus no ligante asfáltico e também a possibilidade de seu uso em substituição ao polímero.

ABSTRACT: This article aims to give a suitable destiny to rubber powder resulting from tire retreading and present a comparative study between modified asphalts by recycled tires rubber and modified asphalt by polymer SBS. The testing methodology used was based on specific literature, to verify the physical changes in the asphalt binder by adding rubber and polymer in wet process. Taking as reference the results obtained for the sample of conventional asphalt, the asphalt-polymer mix resulted in an increase in the penetration and softening point, respectively, and reduced the flash point. Considering the results, it was found that they were within specifications, indicating the feasibility of incorporating the rubber resulted in the tire retreading asphalt binder and also the possibility of their use in substitution of the polymer.

1. INTRODUÇÃO

Os Hidrocarbonetos não voláteis, solúveis em bissulfeto de carbono, com elevada massa molecular, servem como definição para materiais betuminosos. Segundo Pinto (2003) *apud* Gusmão

(2009), a palavra asfalto originou-se do termo Acádio “Asphaltu” ou “Sphallo”, cujo qual, significa esparramar. Posteriormente o material citado, passa a ser estável e seguro.

Há várias décadas, alguns pesquisadores vêm desenvolvendo novas técnicas de modificação do

asfalto, sendo a sustentabilidade um dos temas mais abordados. Atualmente, propõe-se então a incorporação de borracha reciclada de pneus inservíveis, como aditivos, com a finalidade de melhorar as propriedades do ligante e minimizar o impacto ambiental decorrente da destinação de pneus.

Vários trabalhos desenvolvidos comprovaram a melhoria nas propriedades dos materiais, depois de incorporados agentes modificadores no asfalto. Porém, são utilizadas técnicas sofisticadas, que necessitam de equipamentos e técnicas específicas, tornando a aplicação desse material restrita a grandes cidades. Por outro lado, uma das técnicas de modificação de ligantes mais utilizadas atualmente é a adição de polímeros ao asfalto.

Visando avaliar possíveis melhorias nas propriedades do ligante asfáltico através da incorporação de pó de borracha, o presente trabalho avalia algumas propriedades de um Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP) modificado por adição de borracha reciclada, tomando como base de comparação o mesmo CAP modificado com polímero.

Nesse contexto, a utilização de materiais que atualmente é descartado, cujo qual, contribui de maneira direta para a degradação do meio ambiente é foco de diversas pesquisas mundiais. A partir desse contexto, a utilização de Borracha de pneu em ligantes asfálticos torna-se viável e relevante.

Esse trabalho tem como objetivo (a) estudar o desempenho das misturas asfálticas modificadas com borracha reciclada de pneus e compará-la a uma amostra de asfalto modificado com polímeros por meio dos ensaios convencionais de classificação do ligante (b) fazer uma análise comparativa entre as duas misturas.

2. OBJETIVO

Dessa maneira esse trabalho visa:

- misturar borracha reciclada ao CAP 50/70, utilizando técnicas simples para incorporação da borracha;
- realizar ensaios para determinar as propriedades do asfalto-borracha;
- comparar os ensaios de asfaltos modificados com borracha reciclada, aos ensaios dos asfaltos modificados com polímeros.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Pavimentos

O pavimento é uma estrutura com diversas camadas que tem como função principal resistir aos esforços provenientes do tráfego e transmiti-los às camadas inferiores, proporcionando aos usuários melhorias nas condições de rolamento, com conforto, segurança e economia.

Para Paranhos (1982) *apud* Gusmão (2009), os asfaltos de petróleo, são materiais coloidais, compostos de hidrocarbonetos com alto peso molecular, contendo em sua superfície resinas aromáticas, formando em sua superfície o Malteno.

3.2 Aditivos utilizados na pavimentação

Encontrado na natureza na sua forma original, o asfalto era utilizado inicialmente na impermeabilização de tanques e reservatórios, mas ao longo dos séculos foi ganhando outras aplicações.

Durante muitas décadas vários pesquisadores vêm tentando desenvolver técnicas com o objetivo de melhorar a composição do asfalto e torná-lo mais adequado às necessidades da população, através da incorporação de modificadores de asfalto, tais como: fíleres especiais, fibras e borrachas, as quais vêm tomando impulsos significativos ao longo dos anos (BERNUCCI ET AL, 2008).

De acordo com Leite (1999), para aumentar sua resistência, os cimentos asfálticos de petróleo podem ser modificados através de adições de asfaltos naturais, como gilsonita (EUA), asfaltita (Argentina) e asfalto de Trinidad, ou ainda pela adição de fíleres (cal, cimento, sílica, etc.), fibras (fibra de vidro, fibras de celulose e fibras poliméricas) ou por enxofre elementar. A modificação mais utilizada atualmente é através do uso de polímeros ou por borracha de pneus.

3.3 Polímeros

Gusmão (2009) afirma que os polímeros devem ser classificados como lineares (termo-sensíveis) e tridimensionais (termofixos). Monômeros bifuncionais produzem cadeias de polímeros lineares, enquanto os tetrafuncionais e os monômeros geram uma interligação estrutural e espacial dessas unidades polifuncionais.

Segundo Gonzalez *et al* (2004) *apud* Gusmão (2009), a adição de polímeros junto ao Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP) confere maior estabilidade e elasticidade ao pavimento. Tal adição implica em uma redução da susceptibilidade térmica, tornando o material menos variável mediante a variação climática, colaborando assim, para um aumento da vida útil do pavimento.

Segundo Bernucci *et al* (2008), os materiais de partida (monômeros), os tipos de reações utilizados na sua obtenção e a técnica de preparação influenciam no comportamento do polímero sintético. Para Leite (1999), os polímeros são classificados conforme o seu comportamento quando submetido a variações térmicas.

3.4 Asfalto modificado por polímero

Para Bernucci *et al.* (2008), nem todos os polímeros podem ser adicionados ao CAP. Na mesma lógica, nem todos os cimento asfálticos podem ser passíveis da adição de polímeros. Assim, deve existir certo cuidado na escolha do polímero e do aglomerante para evitar problemas de compatibilidade e estocagem do material.

De acordo com Leite (1999), a adição de asfaltos naturais como gilsonita, asfaltita, asfalto de Trinidad, fileres e fibras, ampliam a resistência do cimentos asfálticos de petróleo. No entanto, a modificação na atualidade é realizada através do uso de polímeros (SBR, SBS, EVA, RET, etc.) ou por borracha de pneu.

Leite (1999) ainda afirma que existem diversas especificações referentes aos diversos tipos de polímeros existentes no mercado. Em geral, tais especificações baseiam-se nas propriedades referentes à tensão *versus* deformação, efeitos do calor, estabilidade, recuperação elástica, suscetibilidade térmica e módulo de rigidez.

Leite e Soares (1997) *apud* Gusmão (2009) menciona que as misturas de asfalto com polímeros são sistemas de várias fases, sendo dividida geralmente por uma fase rica em polímero, outra em asfaltenos não adsorvidos pelo polímero, por último, existe uma terceira camada formada pelos maltenos. Mediante a situação demonstrada, pode-se observar uma separação dessas camadas mediante a condição cinética ou ao período de estocagem.

Inserese neste contexto a utilização de asfaltos modificados com polímeros, que dão à mistura alta

flexibilidade, coesão e durabilidade incrementando a resistência dos agregados ao arranque, sob a ação dos esforços tangenciais gerados pelas cargas oriundas do tráfego, ao longo da sua vida útil (ODA & FERNANDES JÚNIOR, 2001).

3.5 Pneu

Segundo Oda e Junior (2001), Charles Goodyear, em 1839, descobre acidentalmente ao deixar cair enxofre em uma amostra de borracha que estava sendo aquecida, o processo para obtenção da borracha vulcanizada. Assim, temos o material fabricado utilizando o processo de vulcanização, o qual vem sendo utilizado até os dias atuais.

No Brasil o uso do material recebeu um grande impulso após a entrada em vigor da Resolução 258 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), de 26 de agosto de 1999. Essa resolução impôs às fábricas de pneus e às importadoras metas de retirada de pneus do meio ambiente. A meta inicial (aplicada em 2002) foi de um pneu inservível para cada quatro pneus fabricados ou importados pelo país. A meta atual, vigente desde 2005, é que as empresas importadoras ou fabricantes de pneus têm de dar fim a quatro pneus inservíveis para cada três novos postos no mercado.

Dessa maneira, uma das alternativas para utilização desse Pneu que retorna às fábricas é na utilização de combustível alternativo para fornos de clínquer na indústria do cimento. Tal queima pode gerar energia elétrica, no entanto, o Brasil ainda utiliza somente 57% dos pneus inservíveis, enquanto nos EUA esse índice pode chegar a 73% (MARQUES & PAZ, 2007).

3.6 Asfalto Borracha

Em um pavimento o material que deve apresentar maior tenacidade é o agregado, pois o ligante deve apenas manter a união dos agregados. Para Contijo (2003), o melhoramento das características do ligante melhora a distribuição de cargas no mesmo, devido ao aumento da coesão do material.

A estrutura atual de um pneu é composta de diversos materiais como: arame, aço de cinturão, poliéster, arame de aço, entre outros. No entanto, para Morilha *et al.* (2007), apenas metade da estrutura física é constituída de pneu que pode ser

aproveitada para incorporação, gerando assim o asfalto borracha.

3.7 Adição de borracha via seca

Como o próprio nome sugere, a adição de borracha é realizada na usina mediante adição da borracha junto ao agregado. Morilha e Grega (2007) ainda afirmam que mesmo esse tipo de ligação prejudicando a junção do ligante com o agregado, tal mistura pode trazer melhorias para a mistura asfáltica, desde que forme um material homogêneo.

3.8 Adição de borracha via úmida

Morilha e Grega (2007), afirmam que nesse processo a borracha é previamente misturada ao ligante, gerando assim uma mistura permanente. Mediante essas condições de mistura ocorre uma melhor transferência das características elásticas, mecânicas e combate o envelhecimento do ligante.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho buscou comparar duas amostras de asfalto convencional modificado com polímero e com borracha reciclada de pneu proveniente de um processo de recauchutagem. A seguir são descritos os processos e materiais utilizados.

4.1 Materiais utilizados na pesquisa

Os materiais que foram utilizados nas misturas são: (a) cimento asfáltico de petróleo, (b) borracha reciclada de pneus e (c) ligantes modificados com polímeros.

4.2 Ligante asfáltico

O cimento asfáltico utilizado nesse trabalho foi o CAP 50/70 que é especialmente utilizado para serviços de pavimentação e incorporação de polímeros.

As características dos ligantes foram fornecidas pela empresa Araguaia Distribuidora de Asfalto de SINOP-MT, que recebe um certificado de ensaio emitido pela Petrobrás, juntamente com o carregamento do material, contendo as propriedades do CAP. Assim que o material é entregue, alguns ensaios são realizados novamente,

para conferir se estão dentro dos limites de especificação.

4.3 Ligante asfáltico modificado por polímero

Foi utilizado ligante asfáltico com adição de polímero, sendo que a incorporação do polímero ao CAP foi realizada de forma industrializada pela Araguaia Distribuidora de Asfaltos.

4.4 Borracha

Para o trabalho foram utilizadas raspas de borrachas de pneus recauchutados. A borracha foi cedida pela Recapadora Sinop, da cidade de Sinop – MT. A borracha fornecida, mostrada na **Erro! Fonte de referência não encontrada.1**, foi peneirada em peneirador mecânico, obtendo-se curva granulométrica mostrada na **Erro! Fonte de referência não encontrada.2**.



Figura 1 - Borracha utilizada na pesquisa. Fonte: Própria.

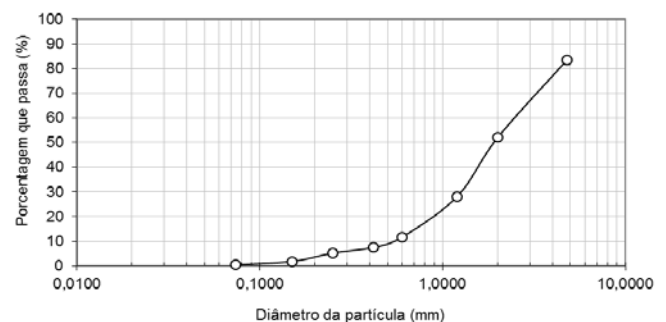


Figura 2 - Curva granulométrica da borracha utilizada. Fonte: Própria.

Não existem medidas definidas para determinar qual a quantidade e a granulometria da borracha (SPECHT, 2004). Neste trabalho optou-se pela utilização das partículas de borracha que passam

na peneira #40 (0,42 mm) e ficam retidas na peneira #50 (0,297), adicionadas ao CAP nas porcentagens de 0, 6, 12 e 18%, tomando como base o trabalho da Oda & Fernandes Júnior (2000). A **Erro! Fonte de referência não encontrada.** apresenta uma amostra da borracha utilizada.



Figura 3 - Borracha utilizada na incorporação. Fonte: Própria.

5. METODOLOGIA

5.1 Preparação do ligante modificado com borracha

A mistura do ligante asfáltico com a borracha foi feita em uma panela cerâmica, onde a temperatura da mistura era controlada por um termômetro digital, de 300 °C, e a homogeneização feita por meio de agitador manual. Primeiramente uma amostra de CAP foi pesada, e depois enquanto pré-aquecida, foi sendo adicionada a borracha. A temperatura utilizada nessa mistura foi de 160°C e o tempo de mistura de 30 minutos. Foram preparadas três misturas de asfalto modificado, onde foram utilizadas as porcentagens de 6, 12 e 18%, sendo a quantidade do ligante o complemento respectivo da porcentagem de borracha, 94, 88 e 82%. Para a preparação do ligante são utilizados equipamentos como: panela cerâmica, balança, fogareiro e termômetro.

5.2 Preparação do ligante modificado com polímeros

Na prática, a mistura do polímero ao CAP é feita em um reator. O cimento asfáltico é pesado e depois é feita a adição do polímero, sendo a mistura posteriormente passada por um equipamento homogeneizador.

A empresa Araguaia Distribuidora de Asfaltos utiliza para a fabricação do material 1,8% de polímero com a adição de 2,9% de ácido polifosfórico, que ajuda a garantir a melhoria nas propriedades do ligante. Durante o processo de fabricação, o CAP incorporado ao polímero fica quatro horas em processo de homogeneização, sendo posteriormente adicionado à mistura o ácido polifosfórico.

5.3 Ensaios realizados

Para definir e qualificar os ligantes asfálticos quanto às suas propriedades, foram realizados nesse trabalho os ensaios tradicionais descritos a seguir.

5.3.1 Penetração

Segundo a ABNT (1998), o ensaio de penetração consiste basicamente em determinar qual a profundidade em décimos de milímetros, que uma agulha com 100g penetra uma mistura de cimento asfáltico a uma temperatura ambiente de 25°C, durante um tempo de 5 segundos.

5.3.2 Ponto de amolecimento (anel e bola)

O Ponto de Amolecimento ou “Anel e Bola” é determinado por meio de ensaio padronizado pela ABNT (2008). Neste ensaio uma amostra de cimento asfáltico é colocada em um recipiente que é constituído por um anel metálico. A partir disso, é realizado o ensaio mantendo-o suspenso em banho num béquer com água. A temperatura lida no momento em que o conjunto toca o fundo do béquer é considerada o ponto de amolecimento do material.

5.3.3 Ponto de fulgor

O ponto de fulgor é a maior temperatura que um material asfáltico pode ser submetido sem que haja liberação de gases de fácil combustão. O equipamento utilizado na execução do ensaio de ponto de fulgor é o Vaso Aberto Cleveland sendo o ensaio normatizado pela ABNT (2008).

5.3.4 Retorno elástico

O ensaio de retorno elástico ou recuperação elástica, normatizado pela ABNT (2004), serve para determinação da elasticidade dos materiais betuminosos.

No ensaio de retorno elástico é utilizado um dutilômetro, o mesmo aparelho usado para medir a ductilidade dos materiais betuminosos, onde é medida a capacidade de um ligante em recuperar a sua posição inicial, após ter sido tracionado 20 cm a uma temperatura de 25°C, à velocidade de 5 cm/min. Depois de atingida a máxima tração, o material já alongado é cortado ao meio e, após 60 minutos, é medido quanto cada uma das partes do material retornou ao tamanho original.

Depois de preparados os asfaltos modificados, foram retirados amostras para a realização dos ensaios, encontrando os resultados mostrados a seguir.

6. ENSAIO

6.1 Ensaio de Penetração

Os resultados obtidos para o asfalto borracha estão na Figura 4. Os resultados mostraram que em relação ao CAP puro o valor de penetração para a mistura diminuiu até um teor de borracha de 12%, aumentando para o teor de 18%.

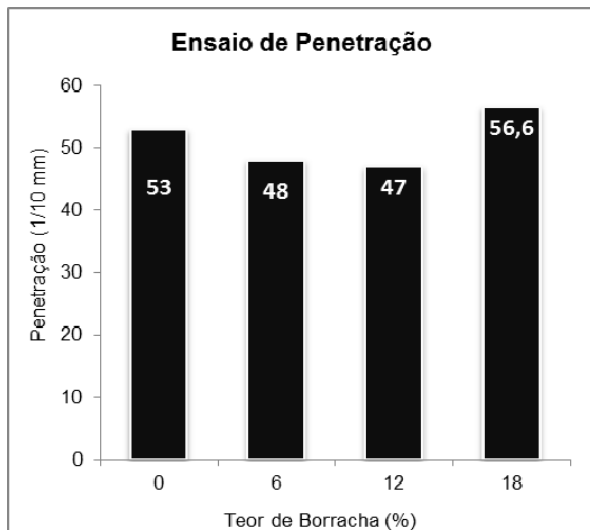


Figura 4 - Resultados Ensaio de Penetração. Fonte: Própria.

Para o ensaio de penetração era esperado que o material com a adição de borracha se tornasse mais viscoso, obtendo assim valores mais baixos, conforme fosse aumentado o teor de borracha, ou que aumentasse até um teor de 12%, e se

estabilizasse ou diminuísse com um teor de 18%. (Oda & Fernandes Junior, 2000).

6.2 Ponto de amolecimento

Os resultados obtidos no ensaio encontram-se na Figura 5

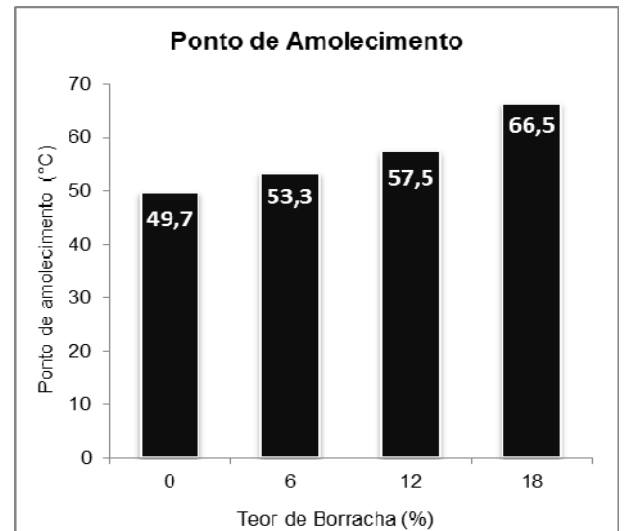


Figura 5 - Resultado do ensaio de Ponto de Amolecimento.

O ponto de amolecimento aumentou com o teor de borracha, provocando assim um aumento no ponto de amolecimento do CAP de 49,7°C para 66,5°C, com o teor de 18% de borracha reciclada de pneu.

6.3 Ponto de fulgor

Os resultados para o ponto de fulgor dos materiais analisados são apresentados na Figura 6. Para a mistura de asfalto borracha observou-se que o material tem ponto de fulgor menor que o CAP convencional, porém o ponto de fulgor do ligante permaneceu dentro da especificação mínima exigida pela Petrobrás para o CAP 50/70, que é de 235°C. Para esse trabalho o melhor resultado para asfaltos incorporados por borracha de pneu ocorreu para um teor de 12%.

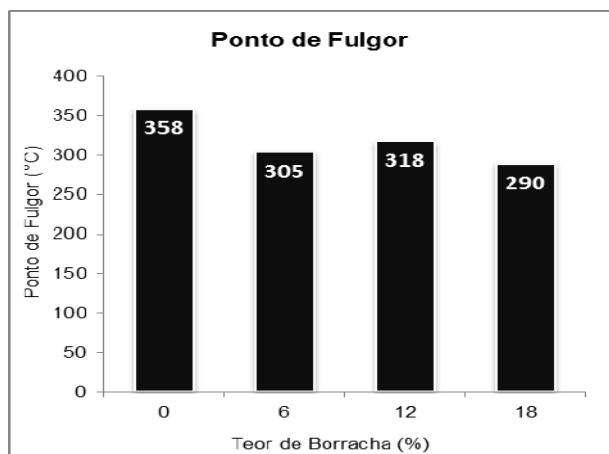


Figura 6 - Resultado do ensaio de Ponto de Fulgor.

6.4 Recuperação elástica

Para este ensaio pode-se observar que a porcentagem de retorno elástico aumentou com o teor de borracha utilizada, como pode ser observado na Figura 7.

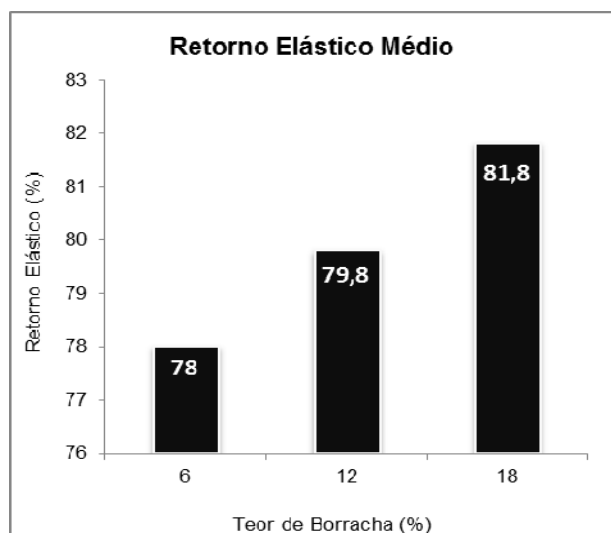


Figura 7 - Resultado do ensaio de Retorno Elástico.

6.5 Considerações sobre os ensaios

Através dos ensaios realizados nas misturas asfálticas incorporadas por polímeros e dos ensaios em misturas de asfalto borracha, foi possível confirmar a influência positiva dos materiais (polímero e pó de pneu) nos ligantes asfálticos.

Misturando o pó de pneu ao material ligante, observou-se que, mesmo utilizando técnicas simples para a incorporação do material, houve melhorias nas propriedades do ligante, podendo destacar a mistura com 18% de borracha que aumentou o ponto de amolecimento de 49,7°C para 66,5°C e atingiu um retorno elástico de 81%.

Essas propriedades asseguram ao asfalto uma melhoria na resistência a deformações permanentes, além de prevenir contra formação de trincas, pois o asfalto, mais elástico, trabalha conforme as solicitações provenientes do tráfego e da temperatura.

Os ensaios obtidos para as duas misturas foram comparados, chegando à conclusão de que apesar das misturas de asfalto apresentarem melhorias no seu desempenho, o asfalto polímero apresentou melhores resultados nos ensaios. Mas levando em consideração o processo de fabricação das duas amostras, e reconhecendo um controle mais rigoroso para o asfalto modificado com polímero, além de considerar o fato de que a borracha utilizada para incorporação do asfalto já perdeu parte de suas propriedades, pode-se considerar uma melhoria no desempenho da mistura asfalto borracha em relação ao asfalto convencional como satisfatório.

Com relação ao custo dos materiais, para a realização das misturas, foi possível observar que para preparação de 1 kg de ligante modificado com polímero o custo total foi de R\$ 1,31, considerando o valor do CAP, polímero e o Ácido Polifosfórico. Para a mesma quantidade de asfalto borracha o custo total de material foi de R\$ 0,84, considerando apenas o custo do CAP, uma vez que a borracha utilizada na mistura não teve nenhum custo.

Outro fator importante a ser considerado na comparação entre as duas misturas, deve-se ao fato de a mistura contendo polímeros apresentar em sua composição o Ácido Polifosfórico, que ajuda a garantir a melhoria nas propriedades do asfalto polímero durante a incorporação, enquanto que para o asfalto borracha não houve a adição de nenhum outro tipo de material.

6. CONCLUSÕES

Através dos ensaios realizados no trabalho, foi possível comprovar que a adição de polímeros e borracha reciclada garante melhorias nas propriedades do asfalto.

Para o asfalto modificado com polímero, onde o processo de incorporação aconteceu de forma industrializada, observou-se uma melhoria nas propriedades da mistura quando comparada ao cimento asfáltico convencional. No asfalto modificado com borracha reciclada também houve

melhorias em relação ao CAP 50/70, com desempenho menor do que o asfalto polímero.

Apesar do processo simplificado utilizado durante a incorporação da borracha de pneu ao ligante, pode-se considerar como satisfatório o desempenho da mistura, que obteve aumento no ponto de amolecimento e redução na penetração, propriedades essas que garantem ao asfalto maior resistência.

REFERÊNCIAS

1. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR-11341: *Produtos de petróleo – determinação do ponto de fulgor e combustão em vaso aberto de Cleveland*. Rio de Janeiro, 2008.
2. _____. NBR 14756: *Materiais betuminosos - determinação da viscosidade cinemática*. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 11p, 2001.
3. _____. NBR 6560: *Materiais betuminosos - determinação do ponto de amolecimento - método do anel e bola*. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 6p, 2008.
4. _____. NBR 6576: *Materiais betuminosos – determinação da penetração*. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 7p, 2007.
5. ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE PNEUMÁTICOS. *Reciclanip*. Disponível em: http://www.reciclanip.com.br/?cont=formas_de_destinacao_paraondevaospneusinserviveis. (Acessado em 09/05/2011).
6. BERNUCCI ET AL. *Pavimentação asfáltica – formação básica para engenheiros*. Rio de Janeiro, RJ: Petrobras/Abeda, 504p, 2008.
7. BERTOLLO, S.A.; FERNANDES JUNIOR, J.L. *Benefícios da incorporação de borracha de pneus em pavimentos asfálticos*. São Carlos, SP: Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, 2002.
8. BRASIL. Resolução nº 416. Brasília, DF: CONAMA, 30/09/2009. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/>. Acessado em 05 de maio de 2011.
9. CASTRO DANTAS, T.N; ET AL. *Utilização de resíduo industrial polimérico na obtenção de asfalto modificado*. In: 4º PDPETRO, Campinas, SP, 2007.
10. LEITE, LENI FIGUEIREDO MATHIAS. *Estudo de Preparo e Caracterização de Asfaltos Modificados por Polímeros*. Rio de Janeiro, RJ: UFRJ, 1999. (Tese de Doutorado).
11. MORILHA JÚNIOR, ARMANDO; GRECA, MARCOS ROGÉRIO. *Asfalto Borracha ECOFLEX*. Trabalho apresentado na reunião Apresentação do Asfalto Borracha. Cuiabá, 2007.
12. ODA, S. *Análise da viabilidade técnica da utilização do ligante asfalto-borracha em obras de pavimentação*. São Carlos, SP: Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 251p, 2000. (Tese de Doutorado).
13. ODA, S.; FERNANDES JUNIOR, J.L. *Borrachas de pneu como modificador de cimentos asfálticos para o uso em obras de pavimentação*. Departamento de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Maringá. São Carlos 2001.
14. ODA, S.; FERNANDES JUNIOR, J.L. *Resultados da avaliação de asfalto-borracha através de ensaios tradicionais e de ensaios de especificação SUPERPAVE*. In: XIV Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes. Gramado, RS: Anais, PP. 577-589, 2000.
15. GUSMÃO, MÁRCIO. *Restauração rodoviária usando asfalto modificado por polímero*. Ouro Preto, MG: Universidade Federal de Ouro Preto, 2009. (Dissertação de Mestrado).
16. SPECHT, L.P. *Avaliação de misturas asfálticas com incorporação de borracha reciclada de pneus*. Porto Alegre, RS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2004. (Tese de Doutorado).