

38^a REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO 12^o ENCONTRO NACIONAL DE CONSERVAÇÃO RODOVIÁRIA 38^a RAP_v / 12^o ENACOR

MANAUS, AM - BRASIL - 12 a 16 de agosto de 2007

Local: Tropical Hotel Manaus

COMPARAÇÃO DO DESEMPENHO DE ASFALTOS PRODUZIDOS ATRAVÉS DOS SISTEMAS CONTINUOUS BLEND E TERMINAL BLEND

Liseane P. T. da Luz Fontes¹; Glicério Trichês²; Paulo A. A. Pereira³; Jorge C. Pais⁴

¹ Doutoranda UFSC/UMINHO, lisefontes@matrix.com.br; Rua João Pio Duarte Silva s/n – Córrego Grande. Florianópolis – SC 88049-970

² Professor UFSC, ecv1gtri@ecv.ufsc.br; Rua João Pio Duarte Silva s/n – Córrego Grande. Florianópolis – SC 88049-970

³ Professor Catedrático UMINHO, ppereira@civil.uminho.pt; Universidade do Minho, Campus de Azurém. Guimarães – Portugal. 4800-058

⁴ Professor UMINHO, jpais@civil.uminho.pt; Universidade do Minho, Campus de Azurém. Guimarães – Portugal. 4800-058



No Encontro das Águas

RESUMO

O processo de fabricação de um asfalto modificado pela adição de borracha de pneus insersíveis é um dos principais fatores que influencia suas propriedades de desempenho. No presente trabalho, a incorporação de borracha de pneus ao asfalto foi feita através do processo úmido (*wet process*), no qual a borracha foi adicionada ao asfalto convencional e resultou em um novo produto, o asfalto modificado com borracha ou asfalto-borracha. O estudo investigou o comportamento dos asfaltos modificados com borracha de pneus usados obtidos através dos sistemas *continuous blend* e *terminal blend*. Na produção do asfalto-borracha *continuous blend* utilizou-se o asfalto convencional CAP 50/70 e a borracha de pneus obtida no sistema ambiente. Inicialmente, o estudo comparou as características do asfalto-borracha do sistema *continuous blend* através da variação da percentagem de borracha e do tempo de digestão, e identificou o asfalto-borracha otimizado. A investigação conduzida em laboratório avaliou o desempenho dos asfaltos-borracha (*continuous* e *terminal blend*) através dos seguintes ensaios: (i) penetração; (ii) ponto de amolecimento; (iii) resiliência; (iv) viscosidade Brookfield. Foram produzidas misturas asfálticas com os dois tipos de asfalto-borracha e com o asfalto convencional. O desempenho das misturas foram comparadas através da vida de fadiga obtida por meio de ensaio de flexão em 4 pontos. O resultado mostrou que as misturas produzidas com o asfalto-borracha proveniente do sistema *terminal blend* possui um desempenho superior quando comparado com as outras misturas confeccionadas com o ligante convencional e proveniente do sistema *continuous blend*.

PALAVRAS-CHAVE: Fadiga, Asfalto-borracha, Continuous blend, Terminal blend.

ABSTRACT

The production process of modified asphalt by the addition of crumb rubber from waste tires is one of the main factors that have been influenced the asphalt properties. In this present study, the incorporation of crumb rubber into the asphalt was made by wet process, in which one the crumb rubber was added into conventional asphalt and resulted in a new product, the asphalt modified with rubber or asphalt-rubber. The study investigated the performance of the asphalts-rubber, obtained through continuous blend system and terminal blend system. The conventional asphalt CAP 50/70 was used to produce the continuous blend asphalt-rubber, and the rubber from waste tires was obtained in the ambient system. Initially, the study compared the characteristics of the asphalt-rubber produced in continuous blend system through the variation of these variables: crumb rubber percentage and digestion time, in order to identify the optimized asphalt-rubber. The evaluation of the asphalt rubber (terminal blend and continuous blend) was done through following tests: (i) penetration; (ii) softening point; (iii) resilience; (iv) apparent viscosity using a Brookfield viscometer. Asphalt mixtures were produced using two types of asphalt-rubber and the conventional asphalt one. All mixtures were evaluated through fatigue test (four-points flexural beam tests). The results showed that the mixture prepared from terminal blend system presented better performance than the mixtures produced with conventional asphalt and asphalt rubber from continuous blend system.

(Resumo em inglês do trabalho - Times New Roman, letras tamanho 10, espaço simples, justificado).

KEY WORDS: Fatigue, Asphalt-rubber, Continuous blend, Terminal blend



No Encontro das Águas

INTRODUÇÃO

A crescente industrialização promoveu o aumento do número de veículos nas estradas, e com isto a geração de milhões de pneus usados. Como consequência, agravou-se o problema do destino final deste resíduo, o pneu usado.

A partir da década de 60, nos Estados Unidos, a utilização de misturas betuminosas com asfalto modificado com borracha de pneus usados foi intensificada. Nos anos 60, o engenheiro Charles McDonald desenvolveu o processo de modificação do asfalto com a incorporação de borracha de pneus usados. Posteriormente, diversos órgãos rodoviários norte-americanos, principalmente nos Estados da Califórnia (*Caltrans – California Department of Transportation*) e do Arizona (*ADOT – Arizona Department of Transportation*), têm investigado e aplicado este tipo de misturas nas estradas (Baker et al., 2003 [1]).

A incorporação de borracha granulada em misturas betuminosas pode ser feita através de dois processos: (i) úmido (*wet process*); (ii) seco (*dry process*). No processo úmido, a borracha granulada é adicionada ao asfalto convencional produzindo um novo tipo de asfalto denominado asfalto-borracha. No processo seco, as partículas de borracha são utilizadas em substituição de parte dos agregados pétreos.

De acordo com Hicks & Epps (2000) [2], as propriedades dos asfaltos modificados com borracha são substancialmente diferentes dos asfaltos convencionais, dependendo das características do asfalto convencional e da borracha utilizados, as quais devem ser previamente avaliadas.

O processo úmido de produção engloba dois sistemas, o sistema *continuous blend*, no qual o asfalto-borracha é confeccionado na própria instalação de produção das misturas (em tanques ou caminhões) e o sistema *terminal blend*, produzido em planta industrial, podendo este último ser estocado.

A obtenção da borracha moída de pneus usados é feita através da trituração à temperatura ambiente ou com temperaturas criogênicas, resultando em uma borracha granulada com diversas granulometrias e diferentes características. As misturas betuminosas com asfalto-borracha possuem as mesmas aplicações que as misturas convencionais e podem ser usadas como camadas de desgaste ou como camadas tipo SAM (*Stress Absorbing Membrane*) ou SAMI (*Stress Absorbing Membrane Interlayer*).

A incorporação de borracha de pneus usados no asfalto para produção de misturas betuminosas, além de melhorar o seu desempenho, contribui também para o destino final adequado de um resíduo sólido, o pneu. De acordo com Amirkhanian (2001 [3]), cada tonelada de mistura betuminosa com asfalto-borracha permite a incorporação de 2 a 6 pneus.

No Brasil, a partir da década de 90, o Centro de Pesquisas da Petrobrás (CENPES) e algumas universidades começaram a investigar o comportamento do asfalto modificado com borracha. Atualmente, além das pesquisas conduzidas em universidades e centros de investigação, existem empresas de distribuição de asfaltos com avançada tecnologia de asfalto-borracha através do sistema *terminal blend*.

Neste trabalho, foi investigado o comportamento dos asfaltos modificados com borracha de pneus usados obtidos através dos sistemas *continuous blend* e *terminal blend*. Os dois asfalto-borracha foram fabricados a partir do asfalto convencional CAP 50/70 com a borracha obtida no sistema ambiente, sendo o primeiro otimizado em laboratório e o outro produzido pela empresa Greca Asfaltos.



No Encontro das Águas

Na otimização do asfalto-borracha *continuous blend* variou-se a percentagem de borracha, do tempo de digestão e a temperatura. A otimização foi definida com base nos resultados dos ensaios de penetração, ponto de amolecimento (método anel e bola), viscosidade Brookfield e resiliência.

A avaliação das propriedades dos agregados para a produção de misturas asfálticas foi realizada através da identificação do tamanho, e ensaios de dureza, forma, aspereza da superfície, limpeza, adesividade, absorção e granulometria. Um fíler calcário calcítico também foi adicionado à mistura para satisfazer às exigências granulométricas.

As granulometrias *gap gaded* ADOT foram utilizadas para confeccionar as misturas com os dois tipos de asfalto-borracha, produzidos através dos sistemas *terminais blend* e *continuous bend*. Também foi produzida uma mistura convencional de referência, confeccionada com o asfalto convencional CAP-50/70. A comparação do desempenho entre as misturas foi feita através dos ensaios fadiga (ensaio de flexão em 4 pontos a deformação controlada).

Os ensaios foram conduzidos na Universidade do Minho em Portugal, em cooperação com a Universidade Federal de Santa Catarina. Os materiais asfálticos e a borracha de pneus são de procedência brasileira. Os agregados utilizados na produção das misturas asfálticas são de procedência portuguesa.

SISTEMAS CONTINUOUS BLEND E TERMINAL BLEND

De acordo com a norma ASTM D 8 (1997), asfalto-borracha no processo úmido, é uma mistura de asfalto, borracha de pneus usados e de determinados aditivos na qual a borracha representa pelo menos 15% do peso total da mistura que reagiu com o asfalto a uma temperatura suficientemente elevada para causar o inchamento das partículas de borracha.

O resultado é um asfalto modificado que tem propriedades significativamente diferentes do asfalto original. A mistura do asfalto com a borracha reage e forma um composto chamado asfalto-borracha (Oda, 2000 [4]).

A produção de asfalto-borracha no processo úmido envolve a avaliação dos componentes principais (asfalto, borracha, aditivos) tendo em conta otimizar (Hicks & Epps, 2000 [2]):

- as propriedades da mistura (asfalto-borracha) para uma gama de tempo de digestão e de temperatura de fabricação;
- a estabilidade da mistura ao longo do tempo; e
- as proporções dos componentes visando obter as propriedades desejadas do novo ligante.

O processo úmido engloba dois sistemas de produção que são o *continuous blend* e o *terminal blend*. O asfalto-borracha do sistema *continuous blend* pode ser confeccionado na própria usina de asfalto, através da inclusão de equipamentos adicionais ou em caminhões estacionários destinados para este finalidade, onde o produto é utilizado imediatamente após a sua produção, podendo ser armazenado até no máximo quatro horas após a sua produção.

Neste trabalho, o asfalto-borracha *continuous blend* foi otimizado e produzido em laboratório. O equipamento utilizado, mostrado na Figura 1, consiste em um forno, equipado com um controlador de temperatura e um conjunto motor/hélice para facilitar a incorporação e as interações entre o asfalto convencional e a borracha. A velocidade de rotação da hélice variou de 250 a 300 rpm, e foi a escolhida por proporcionar uma mistura homogênea entre a borracha granulada e o ligante asfáltico, sem a ocorrência de segregação ou sedimentação das partículas de borracha.

No Encontro das Águas



Figura 1. Equipamento para produção do asfalto-borracha *continuous blend*

No sistema *terminal blend*, a modificação física, reológica e química do asfalto convencional é realizada através de um adequado processo de fusão por meio de agitação mecânica e digestão térmica em moinhos de cisalhamento devidamente controlada que resulta em um produto uniforme e estável porque possui estabilidade que não permite que ocorra a separação de fases durante o armazenamento (Morilha & Greca, 2003 [6]). Isto permite sua produção em uma planta e posteriormente transportado para a obra.

Neste trabalho, o ligante produzido no sistema *terminal blend* foi fornecido pela empresa Greca Distribuidora de Asfaltos.

CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS, BORRACHA E ASFALTO CONVENCIONAL

Agregados

Neste estudo foram utilizados agregados graníticos britados, provenientes de uma pedreira localizada no norte de Portugal (Guimarães). Esta pedreira fornece agregados com as mesmas características dos agregados encontrados na região de Florianópolis, Santa Catarina.

Os agregados possuem a seguinte designação granulométrica: Brita 6/12; Brita 4/10 e Pó (0/4). Um fíler calcário foi adicionado à mistura para satisfazer às exigências granulométricas. Os resultados da caracterização dos agregados (ensaios físicos e mecânicos) são apresentados no Quadro 1.

De acordo com a Quadro 1, os agregados apresentaram adequada resistência para produção de misturas asfálticas. A Figura 2 apresenta as curvas granulométricas dos agregados.

No Encontro das Águas

Quadro 1. Ensaios com os agregados

| Ensaio | Norma | Especificação | Resultado | |
|---|---------------|---------------|------------|------|
| Ensaio Los Angeles (%) | ASTM C 131/89 | 30 | 26 | |
| Índice de Lamelação (%) | BS 812 | 25 | Brita 4/10 | 23 |
| | | | Brita 6/12 | 12 |
| Índice de Alongamento (%) | BS 812 | 25 | Brita 4/10 | 23 |
| | | | Brita 6/12 | 17 |
| Valor do Azul-de-metileno | NP EN 933-9 | 0,8 | 0,2 | |
| Massa específica (g/cm ³) | NP EN 581 | - | Brita 4/10 | 2,65 |
| | | | Brita 6/12 | 2,66 |
| Absorção de britas (%) | NP EN 581 | 2 | Brita 4/10 | 1,24 |
| | | | Brita 6/12 | 0,88 |
| Massa específica de areias (g/cm ³) | NP EN 954 | - | 2,61 | |
| Absorção de areias (%) | NP EN 954 | 2 | 0,41 | |
| Equivalente de Areia (%) | NP EN 933-8 | 60 | 60 | |

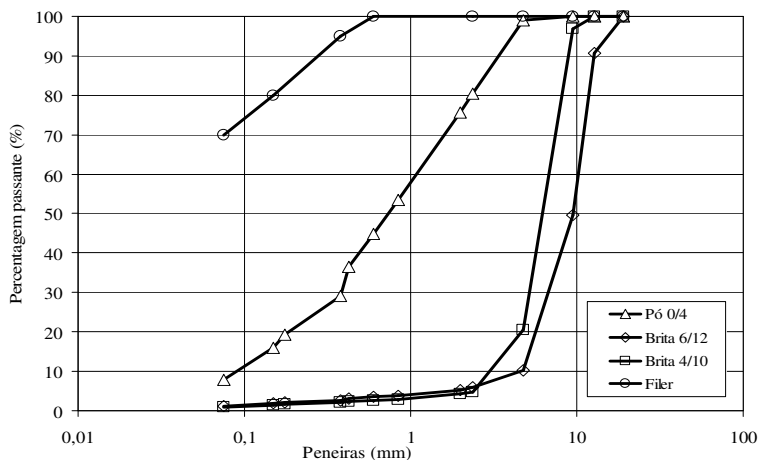


Figura 2. Granulometria dos agregados

Curvas granulométricas

A mistura densa convencional utilizada neste trabalho foi o Concreto Asfáltico Usinado à Quente (CAUQ) faixa “C”, de acordo com a Especificação de Serviço do Departamento de Infra-Estrutura Terrestre, DNIT 031/2006 – ES.

A granulometria da mistura com asfalto-borracha foi a especificada pelo ADOT, tipo *gap graded* ARAC (*Asphalt Rubber Asphaltic Concrete*) constante do ADOT *Construction Manual, section 414* (ADOT, 2005 [7]). Nas misturas tipo *gap graded*, a curva granulométrica não apresenta uma granulometria contínua para todos os tamanhos de agregados, normalmente faltando uma ou duas frações de agregados finos, propiciando o desenvolvimento do contacto de grão-a-grão da fração graúda, promovendo a estabilidade, a flexibilidade e a durabilidade da mistura betuminosa (Hicks, 2002 [5]; Jorgenson, 2002 [8]; Caltrans, 2003 [9]).

No Encontro das Águas

A Figura 3 apresenta as curvas granulométricas CAUQ Faixa “C” e ADOT ARAC.

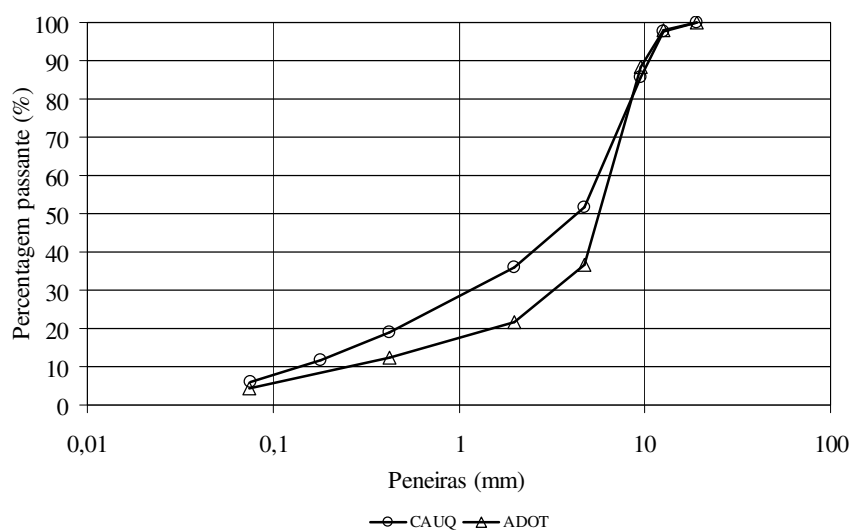


Figura 3. Curvas granulométricas CAUQ faixa “C” e gap graded ADOT

Borracha moída de pneus insersíveis

Os dois principais processos para obtenção de borracha granulada de pneus utilizada na modificação de asfaltos são o ambiente e o criogênico. No sistema ambiente, o corte e a moagem dos pneus usados ocorre na temperatura ambiente. No sistema criogênico, o corte e a moagem é realizado em temperaturas inferiores a 120 °C negativos.

De acordo com Roberts et al. (1989 [10]), a borracha proveniente do sistema criogênico produz uma recuperação elástica inferior quando comparada com a borracha produzida no sistema ambiente. Além disto, a superfície plana e lisa da borracha criogênica reage mais lentamente com o asfalto comparativamente à borracha do sistema ambiente, que possui elevada superfície específica, com aparência esponjosa, forma irregular e textura áspera.

A borracha com uma maior superfície específica produz um aumento de viscosidade do ligante. A diminuição da viscosidade ocorrida com emprego de uma borracha com menor superfície específica pode ser atribuída à diminuição da área de contacto entre o asfalto e a borracha, tendo como consequência a diminuição das possíveis reações entre estes dois materiais (Dantas Neto, 2004 [11]).

Neste trabalho, foi utilizada a borracha proveniente do sistema ambiente, denominada borracha micronizada, com tamanho nominal inferior a 2,0 mm, sendo proveniente do Brasil.

Asfalto

O asfalto convencional utilizado para fabricação do asfalto-borracha *continuous blend* e *terminal blend* foi o CAP 50/70, de acordo com a especificação de material dos cimentos asfálticos de petróleo (DNIT 095/2006 – EM). O Quadro 2 apresenta os resultados obtidos através dos ensaios de caracterização deste ligante. Os ligantes foram transportados para Portugal em latas de 20 litros.

No Encontro das Águas

Quadro 2. Características do CAP-50/70

| Ensaio | Norma | Especificação | Resultado |
|--|--------------|---------------|-----------|
| Penetração (0,1 mm) 100g, 5s, 25 °C | ASTM D 5 | 50 - 70 | 51,5 |
| Ponto de amolecimento (°C) – anel e bola | ASTM D 36 | 50 mín. | 51,5 |
| Viscosidade Brookfield* (cp) a 135 °C | AASHTO TP 48 | mín. 274 | 580 |
| Viscosidade Brookfield* (cp) a 150 °C | AASHTO TP 48 | mín. 112 | 150 |
| Viscosidade Brookfield* (cp) a 177 °C | AASHTO TP 48 | 57 - 285 | 112 |
| Resiliência (%) | ASTM D 5329 | 0 a 4 | 0 |

* Viscosímetro Brookfield, spindle 21, 20 rpm.

OTIMIZAÇÃO DO ASFALTO-BORRACHA NO SISTEMA CONTINUOUS BLEND

Neste estudo, para a otimização do asfalto-borracha através do sistema *continuous blend*, foram utilizadas percentagens de borracha de 19%, 21% e 25% para produção deste ligante. Foram produzidos então nove tipos de asfaltos-borracha, cujos resultados dos ensaios de penetração, ponto de amolecimento, viscosidade Brookfield e resiliência foram comparados de modo a se obter o asfalto-borracha otimizado através do sistema *continuous blend*.

Com base nos resultados obtidos nos ensaios de caracterização, o asfalto otimizado possui as seguintes características: percentagem de borracha de 21 %, tempo de digestão de 90 minutos e temperatura de digestão de 180 °C.

CARACTERIZAÇÃO DOS ASFALTO-BORRACHA CONTINUOS BLEND E TERMINAL BLEND

O asfalto-borracha do tipo *continuous blend* (Asfalto C) foi confeccionado em laboratório com a seguinte configuração: (i) 21% de borracha; (ii) tempo de digestão de 90 minutos; (iii) temperatura de 180 °C. O asfalto-borracha do tipo *terminal blend* (Asfalto A), produzido em unidade industrial possui 20% de borracha incorporada. Os resultados dos ensaios de caracterização destes asfaltos estão mostrados no Quadro 3.

Quadro 3. Resultados dos ensaios de caracterização dos asfalto-borracha

| Ensaio | Norma | Especificação ASTM D 6114 | Asfalto A | Asfalto C |
|--|--------------|---------------------------|-----------|-----------|
| Penetração (0,1 mm) 100g, 5s, 25 °C | ASTM D 5 | 25 a 75 | 42 | 26 |
| Ponto de amolecimento (°C) – anel e bola | ASTM D 36 | 55 mín. | 68,0 | 65 |
| Viscosidade Brookfield* (cp) 175 °C | AASHTO TP 48 | 1500 mín. | 2179 | 2826 |
| Resiliência (%) | ASTM D 5329 | 15 mín. | 28 | 40 |

* Viscosímetro Brookfield, spindle 27, 20 rpm

MISTURAS ASFÁLTICAS E PRODUÇÃO DAS AMOSTRAS

O teor de projeto do ligante e os parâmetros volumétricos das misturas foram determinados através do Ensaio Marshall. O Quadro 4 apresenta os resultados encontrados (entre parêntesis estão os valores das especificações). As temperaturas de aquecimento dos agregados para as misturas foram de 160 °C para a mistura CAUQ e 170 °C para as misturas com asfalto-borracha. O asfalto-borracha foi aquecido a 175 °C enquanto que o ligante convencional foi aplicado a 165 °C. A temperatura de compactação para todas as misturas foi de 160 °C.

No Encontro das Águas

Quadro 4. Teor de projeto e volume de vazios

| Mistura | Teor de projeto (%) | Volume de vazios (%) |
|------------------|---------------------|----------------------|
| CAUQ | 5,5 | 4,0 (3,0 a 5,0) |
| ADOT + Asfalto C | 8,5 (7,5 a 8,5) | 6,0 (5,5 ± 1,0) |
| ADOT + Asfalto A | 8,5 (7,5 a 8,5) | 6,0 (5,5 ± 1,0) |

Após a definição do teor de projeto, foram moldadas placas para a confecção de corpos-de-prova para ensaios de fadiga. As placas possuem as dimensões 75,2 cm de comprimento, 49,2 cm de largura e 7,9 cm de espessura, que possibilitam a obtenção, para cada placa, de nove amostras prismáticas com dimensões de 30,0 x 5,0 x 6,3 cm. A mistura dos materiais foi feita em uma misturadora mecânica. Para a compactação das misturas foi utilizado um rolo liso de pequeno porte. O processo de compactação durou até que fosse alcançada a massa específica aparente obtida na dosagem Marshall.

Após a serragem e secagem em ambiente climatizado foi feita a seleção dos corpos-de-prova para serem ensaiados de modo a se ter amostras homogêneas, através da medição das dimensões e da densidade aparente de cada corpo-de-prova.

ENSAIO DE FADIGA

A resistência à fadiga de uma mistura betuminosa é geralmente expressa como uma relação entre a tensão ou extensão inicial e o número de repetições de carga que produzem a ruína. As leis de fadiga (relação entre o estado de tensão-deformação e o número de ciclos de carga para atingir uma dada condição de ruptura) estabelecidas a partir de ensaios de laboratório de cargas repetidas são conduzidos a diferentes níveis de tensão ou de deformação de tração, devendo reproduzir tanto quanto possível aqueles sob os quais as camadas asfálticas estarão submetidas no campo.

De maneira geral, o critério de ruptura adotado nos ensaios de fadiga em misturas asfálticas corresponde ao decréscimo de 50% da rigidez inicial do corpo-de-prova. Nestes ensaios é de fundamental importância o controle da temperatura e a frequência da aplicação do carregamento.

Neste trabalho, a determinação da resistência à fadiga das misturas asfálticas foi feita através do ensaio de flexão alternada em 4 pontos (Vide Figura 5 a). Este tipo de ensaio simula o aparecimento do trincamento por fadiga devido à deformação de tração que se desenvolve na face inferior das camadas asfálticas. Neste ensaio, uma carga de intensidade $F/2$ é aplicada de forma cíclica (sinusoidal) nos terços médios do corpo-de-prova, de modo a induzir na sua parte inferior, uma deformação de tração pré-definida. A norma AASHTO TP8/94 descreve os procedimentos necessários para a realização destes ensaios.

O dispositivo de flexão em 4 pontos (Figura 5 b), tem como particularidade a existência de livre rotação e translação nos 4 pontos de carga. A estrutura de carga é composta por um atuador vertical ligado a uma servo-válvula, na extremidade do qual se encontra uma célula de carga. O equipamento está inserido em uma câmara climática que permite o controle da temperatura entre -20 °C a $+70\text{ °C}$ e com precisão de $\pm 0,5\text{ °C}$.

Os ensaios foram conduzidos a deformação controlada, temperatura constante de 20 °C e com a aplicação de um carregamento repetido cíclico sinusoidal (frequência de 10Hz). Para cada mistura foram ensaiados 9 corpos-de-prova em 3 níveis de deformação: 200, 400 e 800×10^{-6} mm/mm (micro deformação).

No Encontro das Águas

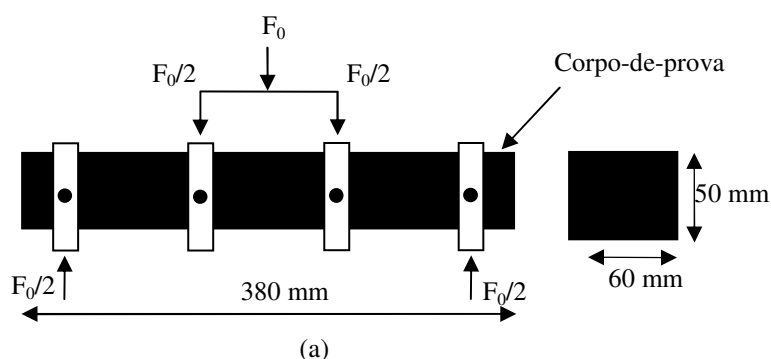


Figura 5 – Representação do carregamento aplicado no ensaio de fadiga (a) e Dispositivo para ensaio de fadiga de flexão em 4 pontos (b)

Com base no número de ciclos que origina a ruptura do corpo-de-prova (50% da rigidez inicial) e na deformação aplicada, obtém-se uma série de pontos. A reta que melhor se ajusta a estes pontos corresponde à lei de fadiga da mistura asfáltica, cujo modelo é dado através da Equação 1:

$$N = a \left(\frac{1}{\varepsilon_t} \right)^b \quad (1)$$

onde:

N = número de ciclos para atingir o critério de ruptura;

ε_t = deformação de tração inicial (mantida constante durante o ensaio);

a, b = constantes determinadas experimentalmente.

ANÁLISE DOS RESULTADOS

A Figura 6 apresenta as curvas de fadiga obtidas através dos ensaios para as misturas com asfalto-borracha e a mistura convencional de referência.

De acordo com os resultados obtidos, a mistura que apresentou melhor desempenho quanto a vida de fadiga foi a confeccionada com o Asfalto A (*terminal blend* com 20% de borracha). As misturas com asfalto-borracha, tanto a que utilizou o tipo *terminal blend* quanto a que foi confeccionada com o *continuous blend* mostram que a adição de borracha ao asfalto melhora o desempenho quanto à vida de fadiga. O resultado encontrado confirma ainda que o Asfalto A possui um desempenho superior que o Asfalto C produzido em laboratório.

Com base nas leis de fadiga, e por extrapolação, foi possível determinar o N_{100} , número de solicitações para a ruptura correspondente a uma deformação de tração de 100 E-6 (Figura 7).

No Encontro das Águas

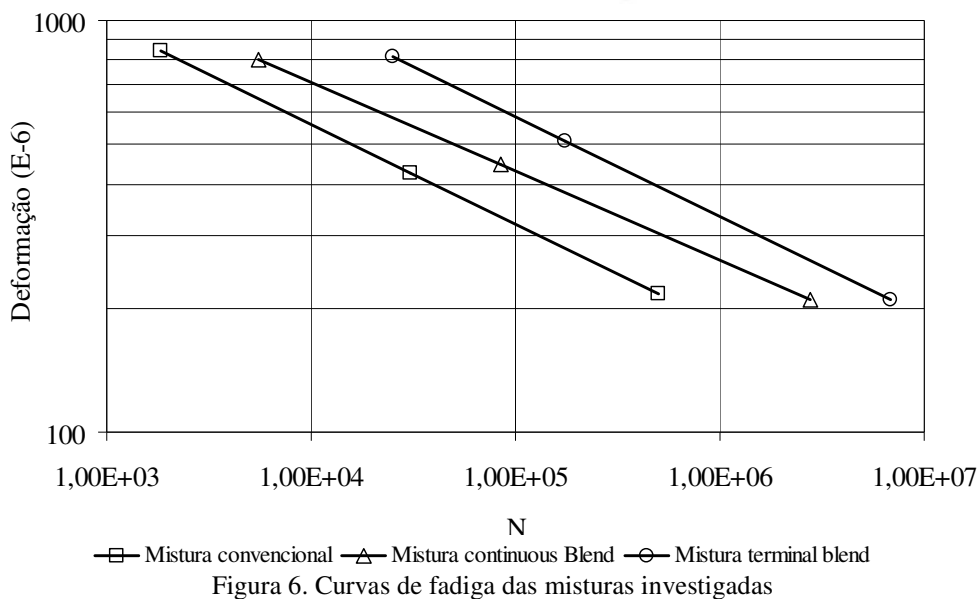


Figura 6. Curvas de fadiga das misturas investigadas

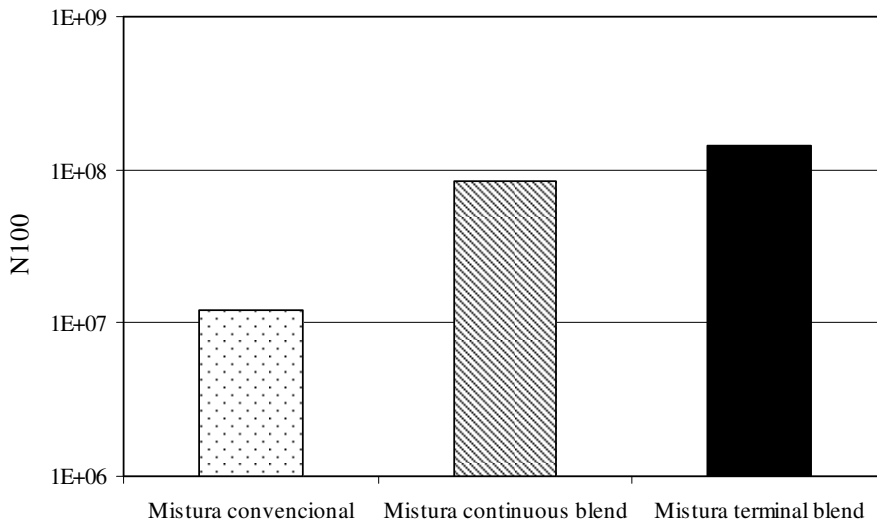


Figura 7 – Vida de fadiga à deformação 100 E-6

CONCLUSÕES

Neste trabalho foram confeccionadas em laboratório misturas *gap graded* com a granulometria ADOT, produzidas com asfalto-borracha proveniente dos sistemas *terminal blend* contendo 20% de borracha e *continuous blend* (produzido em laboratório), na seguinte configuração: 21% de borracha, tempo de digestão de 90 minutos a uma temperatura de mistura de 180 °C. Foi produzida ainda uma mistura convencional de referência com asfalto convencional CAP-50/70.



No Encontro das Águas

Os resultados do ensaio de penetração indicaram um aumento da rigidez do asfalto-borracha em relação ao convencional devido à presença da borracha, contribuindo para um aumento da resistência em condições de rodagem a temperaturas ambientes mais elevadas. Os resultados apresentados no ensaio do ponto de amolecimento mostram um acréscimo deste fator do asfalto-borracha (68,0 °C e 62,0 °C), em comparação ao CAP-50/70 (51,5 °C), o que indica uma maior resistência à deformação permanente

Relativamente à viscosidade Brookfield, os asfaltos modificados atenderam à especificação mínima exigida pela ASTM D 6114, 1997 de 1500 cp a 175 °C. Os resultados encontrados para o ensaio de resiliência indicaram que os mesmos possuem uma maior recuperação à deformação em comparação ao CAP-50/70.

Os ensaios de fadiga mostram que a mistura com asfalto *terminal blend* possui um desempenho superior em relação à mistura asfalto *continuous blend* e também que a modificação do asfalto com borracha, independente do sistema, melhora o comportamento à fadiga em relação à mistura convencional CAUQ.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Baker, T.E.; Allen, T.M.; Jenkins, D.V.; Mooney, T.M.; Pierce, L.M.; Christie, R.A.; Weston, J.T., 2003. Evaluation of the Use of Scrap Tires in Transportation Related Applications in the State of Washington. Report to the Legislature as Required by SHB 2308. Washington State Department of Transportation. Olympia, Washington, USA.
- [2] Hicks, R.G. & Epps, J.A., 2000. Quality Control for Asphalt Rubber Binders and Mixes. Rubber Pavement Association. Tempe, Arizona, USA.
- [3] Amirkhanian, S.N., 2001. Utilization of Crumb Rubber in Asphaltic Concrete Mixtures – South Carolina's Experience. Report Draft. South Carolina Department of Transportation. Clemson, South Carolina, USA.
- [4] Oda, S., 2000. Análise da Viabilidade Técnica da Utilização do Ligante Asfalto-Borracha em Obras de Pavimentação. Tese de Doutorado. Engenharia Civil – Área de Transportes. Escola de Engenharia de São Carlos, EESC/USP. São Carlos, São Paulo, Brasil.
- [5] Hicks, R.G., 2002. Asphalt Rubber Design and Construction Guidelines, Volume I – Design Guidelines. Northern California Rubberized Asphalt Concrete Technology Center (NCRCTC) and California Integrated Waste Management Board (CIWMB). Sacramento, California, USA.
- [6] Morilha, Jr.A. & Greca, M.R., 2003. Betume Borracha Ecoflex. Greca Asfaltos. Curitiba, Paraná, Brasil.
- [7] ADOT, 2005. ADOT Construction Manual. Arizona Department of Transportation, Intermodal Transportation Division, Arizona, USA.
- [8] Jorgenson, L., 2002. Tires Make the Road – The Latest in Asphalt Rubber Pavements. University of California Berkeley, Institute of Transportation Studies, Technology Transfer Program, Berkeley, California, USA.
- [9] Caltrans, 2003. Asphalt Rubber Usage Guide. State of California Department of Transportation. Materials and Testing Services. Office of Flexible Pavement Materials. Sacramento, California, USA.
- [10] Roberts, F.L.; Kandhal, P.S.; Brown, E.R.; Dunning, R.L., 1989. Investigation and Evaluation of Ground Tire Rubber in Hot Mix Asphalt. National Center for Asphalt Technology nº 89-3. Auburn, Alabama, USA.
- [11] Dantas Neto, S.A., 2004. Avaliação das Propriedades dos Ligantes e das Misturas asfálticas Modificados com Borracha Granulada de Pneus Usados. Tese de Doutorado. Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Brasília, DF, Brasil.