

Universidade do Minho

[CN-37]

Fontes, L.P.T.L., Trichês, G., Pereira, P.A.A., **Pais, J.C.**

“Dimensionamento de pavimentos com camada de desgaste em mistura asfáltica com asfalto borracha”

15ª Reunião de Pavimentação Urbana, Salvador/BA – Brasil, 28 a 30 de Maio, 2008

15ª REUNIÃO DE PAVIMENTAÇÃO URBANA

15ª RPU



SALVADOR/BA - BRASIL - 28 a 30 de maio de 2008

DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS COM CAMADA DE DESGASTE EM MISTURA ASFALTICA COM ASFALTO BORRACHA

Liseane P. Thives da Luz Fontes & Glicério Trichês¹; Paulo Pereira & Jorge C. Pais²

¹Doutoranda e Professor do Departamento de Pós graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Rua João Pio Duarte, Florianópolis-SC, Brasil, 88040-970. lisefontes@matrix.com.br; ecv1gtri@ecv.ufsc.br

² Professores do Departamento de Engenharia Civil, Vias de Comunicação, Universidade do Minho, Campus de Azurém, Guimarães, Portugal, 4800-058 ppereira@civil.uminho.pt ; jpais@civil.uminho.pt



RESUMO

A aplicação de misturas asfálticas convencionais é largamente utilizada em camadas de desgaste nos pavimentos brasileiros. No entanto, o aparecimento do trincamento por fadiga e do afundamento por trilha de roda têm levado à degradação prematura dos revestimentos, evidenciando a necessidade do desenvolvimento de pesquisas com novas misturas e uso de novos materiais. Neste contexto, uma das alternativas é a utilização de misturas asfálticas com asfalto modificado com borracha de pneus usados ou asfalto borracha, que tem mostrado melhorar as características mecânicas e estruturais dos pavimentos. Este trabalho apresenta o dimensionamento de um pavimento de uma rodovia de tráfego médio, fazendo-se um comparativo entre a vida útil da estrutura com mistura com asfalto borracha e uma mistura convencional. A mistura com asfalto borracha foi produzida com a granulometria *gap graded* e a mistura convencional com a Faixa "C" do DNIT. O asfalto convencional utilizado foi o CAP-50/70 e o asfalto borracha foi produzido através do processo úmido, do tipo *terminal blend*. Os dois asfaltos foram testados através de ensaios convencionais (penetração, ponto de amolecimento e viscosidade), além do ensaio para asfaltos modificados. Foram realizados ensaios de módulo complexo e fadiga com equipamento de flexão em 4 pontos, à deformação controlada. O dimensionamento foi realizado com auxílio do programa BISAR 3.0. Os resultados mostraram que a mistura com asfalto-borracha apresentou um melhor desempenho, alcançando uma vida de projeto superior.

PALAVRAS-CHAVE: Asfalto-borracha, fadiga, dimensionamento.

ABSTRACT

Conventional asphalt mixtures are widely used in Brazilian pavement surfaces. However, the appearing of fatigue cracking and rutting has made evident the need of developing advanced research involving new mixtures and the use of new materials. In this way, the use of asphalt mixtures using asphalt modified with rubber from used tires, which have proved to improve the mechanical and structural characteristics of pavements, has become an appropriate alternative. This paper presents a pavement design for a medium-trafficked road by making a structural comparative life performance between an asphalt rubber mixture and a conventional mixture. The mixture with asphalt rubber was gap graded and the conventional mixture was produced following Grade "C" of DNIT. The conventional asphalt used was CAP-50/70 and the asphalt rubber was produced through the wet process, type terminal blend. The two asphalts were tested through conventional tests (penetration, softening point and viscosity), besides the resilience test for modified asphalts. Complex modulus and fatigue tests were accomplished with 4-point bending equipment, in controlled strain. The pavement design was carried out by the BISAR 3.0 program. The results obtained showed that the mixture with asphalt rubber presented a better performance, reaching a superior long-term life.

KEY WORDS: Asphalt rubber, fatigue, design.



1. INTRODUÇÃO

Desde a década de 60 os Estados Unidos, principalmente os Estados da Califórnia e do Arizona, intensificaram o uso de misturas asfálticas com asfalto modificado com pneus usados, denominado asfalto-borracha. De acordo com Way (2003) somente no Arizona mais de 28000 km de pavimento foram construídos ou reabilitados utilizando este material. A partir da década de 80 outros organismos rodoviários norte americanos, além do Caltrans (*California Department of Transportation*) e do ADOT (*Arizona Department of Transportation*), intensificaram o estudo e a aplicação de misturas asfálticas com asfalto-borracha utilizando granulometrias do tipo *dense graded* e *gap graded*. Além do excelente desempenho, a utilização de pneus usados passou a ser considerada também como uma alternativa para diminuir o problema da disposição deste resíduo.

No Brasil, a partir da década de 90, empresas distribuidoras de asfalto, o Centro de Pesquisas da Petrobrás (CENPES) e alguns pesquisadores de universidades começaram a investigar o comportamento do asfalto-borracha. Atualmente, além das investigações conduzidas em universidades e em centros de investigação, existem empresas de distribuição de asfaltos com avançada tecnologia de produção do asfalto-borracha.

Os benefícios da utilização de misturas asfálticas com asfalto-borracha no processo úmido são evidenciados por diversos autores, como sendo os seguintes (Roberts et al., 1989; Hicks, 2002; Caltrans, 2003; Baker et al., 2003):

- maior resistência ao trincamento devido ao elevado teor de asfalto;
- melhor resistência ao envelhecimento e oxidação devido ao elevado teor de asfalto;
- melhoria da resistência à fadiga e propagação de trincas devido ao elevado teor de asfalto;
- maior resistência à deformação permanente tendo em conta o aumento da viscosidade e do ponto de amolecimento;
- melhor visibilidade noturna devido ao contraste da superfície do pavimento e linhas de demarcação;
- redução do ruído devido à maior película de asfalto (principalmente em texturas abertas);
- redução do efeitos de projeção de água (*splash* e *spray*) durante as chuvas (principalmente em texturas abertas);
- redução do tempo de construção considerando a menor espessura das camadas com este tipo de mistura;
- redução dos custos de conservação considerando o melhor desempenho do pavimento;
- maior resistência à desagregação devido à espessura da película de asfalto que recobre o agregado;
- menores custos de vida útil devido ao melhor desempenho da mistura; e
- poupança de energia e de recursos naturais através da utilização de materiais reaproveitados.

Para além destas vantagens, entre 1980 e 1992, o Caltrans conduziu uma investigação em pavimentos reabilitados na qual comparou as degradações nas camadas com misturas convencionais e com asfalto-borracha e desenvolveu um critério, através de testes deflectométricos, de redução da espessura da camada de desgaste quando da aplicação destas misturas comparativamente às misturas convencionais (Van Kirk & Holleran, 2000).

Para se estimar a vida útil de uma estrutura de pavimento em que se tem a opção de executar o revestimento em mistura convencional ou com mistura asfalto-borracha, é necessário, primeiramente, avaliar o comportamento da mistura asfalto-borracha através de ensaios mecânicos tanto em laboratório como em campo, sendo que estes, por envolver recursos cuja cultura brasileira de investigação para o setor rodoviário tradicionalmente não está disposta a realizar, são preteridos em relação aos de laboratório. Obtidos os modelos de comportamento, é necessário realizar o dimensionamento da estrutura utilizando-se, preferencialmente, métodos mecanicistas, pois estes permitem levar em conta, de forma racional, as particularidades de cada material empregado na estrutura a ser projetada. Para tanto, devem ser utilizados programas computacionais que permitem análise linear ou não linear do sistema de camadas, os quais permitem o cálculo das tensões e deformações que se desenvolvem na estrutura sendo estes, comparados aos limites pré-estabelecidos para cada um dos materiais que compõem a estrutura do pavimento.

Tradicionalmente, para o dimensionamento de pavimentos, os principais critérios de controle são a deformação máxima específica de tração (ϵ_t) desenvolvida na fibra inferior do revestimento asfáltico, atribuída ao fenômeno de fadiga resultante da ação de cargas repetidas, e a tensão ou deformação de compressão no topo da camada do subleito, atribuída ao desenvolvimento de deformação permanente.

Este trabalho tem por objetivo apresentar a estimativa de vida útil de um via urbana com médio volume de tráfego, considerando que o órgão público teria a oportunidade de escolher para o revestimento asfáltico da via uma mistura asfáltica convencional ou uma mistura confeccionada com asfalto-borracha. Os modelos de fadiga para os dois tipos de misturas utilizados no trabalho foram obtidos em uma pesquisa pioneira no Brasil realizada em parceria com uma instituição européia.



2. ASFALTO-BORRACHA

De acordo com a norma ASTM D 8 (1997), o asfalto-borracha 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. Esta definição engloba o asfalto-borracha produzido através do processo úmido no qual, de acordo Morilha & Greca (2003), a borracha de pneus é previamente adicionada ao asfalto convencional, modificando-o permanentemente porque ocorre a transferência efetiva dos polímeros e dos componentes químicos dos pneus para o asfalto que se traduzem em maior elasticidade e resistência ao envelhecimento. O outro processo de incorporação da borracha em uma mistura asfáltica é denominado seco, cuja função da borracha na mistura é a de um agregado fino.

A obtenção de borracha de pneus usados pode ser feita através da trituração do pneu à temperatura ambiente ou com temperaturas criogênicas, em que a trituração da borracha é feita a temperaturas negativas, inferiores a -120 °C.

No processo úmido, quando borracha é adicionada ao asfalto ocorre o inchamento do mesmo. Esta reação é influenciada pelos seguintes fatores: (i) temperatura da mistura; (ii) tempo de digestão; (iii) quantidade de borracha incorporada; (iv) tipo do misturador mecânico; (v) tamanho e textura da borracha; (vi) componente aromática do asfalto (os principais constituintes do asfalto são os asfaltenos, os compostos saturados e os aromáticos polares e naftênicos). A reação envolve a absorção de óleos aromáticos do asfalto nas cadeias de polímeros que incluem os principais componentes estruturais da borracha (TFHRC, 2005).

O processo úmido engloba dois sistemas de produção que são o *continuous blend* e o *terminal blend*. A reação pode ser feita em caminhões separados ou em tanques apropriados na própria usina de asfalto, no sistema *continuous blend*, ou em planta industrial (sistema *terminal blend*).

O asfalto modificado através do sistema *terminal blend*, da mesma forma que no sistema *continuous blend*, consiste na incorporação da borracha granulada de pneus em equipamento apropriado. No entanto, a modificação física, reológica e química do asfalto convencional é realizada em planta, através de um adequado processo de fusão por meio de agitação mecânica e digestão térmica devidamente controlada que resulta em um produto uniforme e estável (Morilha & Greca, 2003).

O sistema *terminal blend* tem sido utilizado desde 1989 no Estado do Texas (Estados Unidos), caracterizando-se por utilizar uma quantidade de borracha (inferior a 10%), menor àquela (15% a 22%) empregada no processo úmido sistema *continuous blend* (Takallou & Takallou, 2003). Na tecnologia desenvolvida no Brasil, o asfalto produzido no sistema *terminal blend* possui estabilidade sem que ocorra a separação de fases durante o armazenamento, ou seja, as características deste asfalto permitem a sua utilização muito tempo após a sua produção. Além disto, a tecnologia brasileira permite que sejam introduzidas percentagens de borracha de 15 até 20%, que se traduz em um material com características superiores em termos de flexibilidade e de desempenho.

As misturas asfálticas com asfalto-borracha possuem as mesmas aplicações que as misturas convencionais e podem ser usadas como camadas de desgaste ou como camadas do tipo SAM (*Stress Absorbing Membrane*) ou SAMI (*Stress Absorbing Membrane Interlayer*). As misturas com asfalto-borracha, são, em geral, aplicadas em diferentes granulometrias: *dense graded*, *open graded* e *gap graded*. As diferenças entre as composições das misturas são baseadas no tamanho dos agregados, teor de asfalto e volume de vazios (Roberts et al., 1989; Baker et al., 2003). Na granulometria tipo *gap graded*, a curva granulométrica não é contínua para todos os tamanhos de agregados, normalmente faltando uma ou duas frações de agregados finos. Este tipo de granulometria prioriza o contato de grão-a-grão na mistura asfáltica, promovendo estabilidade, flexibilidade e durabilidade (Caltrans, 2003).

3. FADIGA E MÓDULO DAS MISTURAS ASFÁLTICAS

De acordo com Antunes (2005), o trincamento por fadiga é o único mecanismo de degradação com origem nas camadas asfálticas considerado na generalidade dos métodos de dimensionamento baseados na análise estrutural. Este fenômeno é geralmente tido em conta através da adoção de uma lei de fadiga que relaciona a deformação máxima horizontal de tração (deformação específica de tração) induzida na base das camadas de revestimento com o correspondente número admissível de aplicações de carga. O modelo de fadiga tem sido estabelecido utilizando-se uma regressão linear entre a vida de fadiga (N_f) e a deformação inicial de tração (ϵ_t) em ensaios de deformação controlada. A Equação 1 apresenta o modelo de fadiga proposto por Monismith et al. (1971):

$$N_f = a \left(\frac{1}{\epsilon_t} \right)^b \quad (1)$$



onde: N = vida de fadiga expressa em número de solicitações de carga;
 ϵ_t = deformação específica de tração; e
 a , b = constantes determinadas experimentalmente.

Em laboratório, o ensaio clássico que caracteriza o fenômeno de fadiga consiste em submeter corpos-de-prova de misturas asfálticas a solicitações repetidas e registrar o número de ciclos até que entre em ruptura. Nestes ensaios, a resposta à fadiga de um corpo-de-prova é função do modo de carregamento, que pode ser a tensão ou deformação controlada; da temperatura; e da frequência aplicada. Nos ensaios à deformação controlada, a fadiga da mistura asfáltica é definida como a que corresponde ao decréscimo de 50% da sua rigidez inicial (Di Benedetto & De La Roche, 1998).

A rigidez dos materiais de construção como o aço ou o concreto podem, em geral, ser descritos através do módulo de Young o qual, em condições normais, é independente da temperatura e do tempo de carregamento. Ao contrário, os materiais asfálticos exibem variações de suas propriedades mecânicas em função da temperatura e do tempo de aplicação de carga (Partl & Francken, 1998). Desta forma, as propriedades relativas à rigidez das misturas asfálticas são representadas em função da temperatura e frequência, através do seu módulo complexo e ângulo de fase (Francken, 1997). As misturas asfálticas exibem uma combinação de respostas elásticas e viscosas, dependentes do tempo e da temperatura. Em certos casos a resposta pode ser tipicamente elástica e em outros tipicamente viscosa (Momm, 1998).

A rigidez de uma mistura asfáltica depende da temperatura e do tempo de carregamento, podendo-se assim definir uma rigidez elástica quando se está na presença de baixas temperaturas e curtos tempos de carregamento e uma rigidez viscosa para altas temperaturas e longos tempos de carregamento. A rigidez elástica é utilizada para caracterização mecânica da mistura asfáltica no dimensionamento da estrutura enquanto a rigidez viscosa, é fundamental para a previsão das deformações permanentes. A rigidez elástica de uma mistura asfáltica é função da rigidez elástica do asfalto e da composição volumétrica da mistura. A quantificação da rigidez é avaliada através dos ensaios realizados para a determinação das características de fadiga ou de deformações permanentes das misturas asfáltica (Pais, 1999).

De acordo com Heitzman (1992), os valores dos módulos das misturas contendo asfalto-borracha são, em geral, inferiores aos valores de misturas similares contendo asfalto convencional. Quanto mais elevada a temperatura, maior é a diferença entre o módulo das misturas convencionais e das misturas com asfalto borracha.

Diversos autores têm verificado, através de ensaios laboratoriais, um melhor desempenho à fadiga das misturas com asfalto-borracha em relação às misturas com asfalto convencional. Sousa et al. (1999) realizaram ensaios de fadiga e de módulo visando a caracterização de misturas com asfalto convencional e com asfalto-borracha (20% de borracha incorporada) virgens e envelhecidas. Como resultado, a resistência à fadiga das misturas com asfalto-borracha chegou a ser, para certas condições, 10 vezes superior, quando comparada à convencional. Os resultados de fadiga realizados em amostras envelhecidas com asfalto-borracha mostraram-se pouco sensíveis a ação de envelhecimento. Relativamente aos ensaios de rigidez, observaram-se valores maiores para a mistura convencional. Outros trabalhos de investigação, como exemplo, Visser & Verhaeghe (2000), Shatnawi & Long (2000), Antunes et al. (2000), Gallego et al. (2000) e Shatnawi & Holleran (2003), mostraram que as misturas asfálticas produzidas com asfalto-borracha apresentaram uma resistência à fadiga significativamente superior à resistência à fadiga das misturas asfálticas convencionais.

4. MATERIAIS

Os ensaios contidos neste trabalho foram realizados no Laboratório de Vias de Comunicação da Universidade do Minho (Portugal) em convênio com a Universidade Federal de Santa Catarina. Os materiais asfálticos e a borracha utilizados na investigação são de procedência brasileira e foram transportados para Portugal em latas de 20 litros.

Neste trabalho, foi utilizado o asfalto convencional CAP-50/70, especificado de acordo com DNIT 095/2006 – EM. Este asfalto foi utilizado para produção da mistura asfáltica convencional denominada Concreto Asfáltico Usinado à Quente - Faixa “C”, de acordo com as especificações DNIT 031/2006 – ES. A Tabela 1 apresenta os resultados dos ensaios de caracterização do asfalto convencional CAP-50/70.

Tabela 1. Caracterização do CAP-50/70

Ensaio	Norma	Especificação	Resultado
Penetração 25 °C, 100g, 5s (0,1 mm)	ASTM D 5	50 - 70	51,5
Ponto de amolecimento anel e bola (°C)	ASTM D 36	50 mín.	51,5
Viscosidade Brookfield (cP) a 135 °C	ASTM D 2196	mín. 274	580
Viscosidade Brookfield (cP) a 150 °C	ASTM D 2196	mín. 112	150
Viscosidade Brookfield (cP) a 177 °C	ASTM D 2196	57 - 285	112
Resiliência (%)	ASTM D 5329	-	0

O CAP-50/70 serviu de asfalto base para confecção do asfalto-borracha do tipo *terminal blend* utilizado neste estudo. O asfalto-borracha utilizado foi fornecido pela Empresa Greca Asfaltos 20% de borracha incorporada. A borracha utilizada é proveniente do processo ambiente. A Tabela 2 apresenta os resultados dos ensaios de caracterização do asfalto-borracha.

Tabela 2. Caracterização do asfalto-borracha *terminal blend* (20% de borracha)

Ensaio	Norma	Especificação	Resultado
Penetração 25 °C, 100g, 5s (0,1 mm)	ASTM D 5	25 a 75	40
Ponto de amolecimento anel e bola (°C)	ASTM D 36	54,4 mín	68,0
Viscosidade Brookfield (cP) a 175 °C	ASTM D 2196	1500 mín	2179
Resiliência (%)	ASTM D 5329	20	28

De acordo com os resultados mostrados nos ensaios de caracterização (Tabelas 1 e 2), a asfalto-borracha apresenta um ponto de amolecimento mais elevado do que o CAP-50/70 sendo possível demonstrar a melhoria desta propriedade, em mais de 16 °C, quando se adiciona a borracha ao asfalto. A viscosidade mais elevada se traduz em uma melhoria da resistência à deformação permanente. O resultado do ensaio resiliência, que fornece um indicativo da recuperação elástica do material, mostrou que o asfalto convencional não apresentou recuperação elástica neste ensaio, mas que a incorporação da borracha de pneus alterou este comportamento (28%).

Com o asfalto-borracha *terminal blend* foi produzida uma mistura descontínua do tipo *gap graded* especificada pelo ADOT, ARAC (*Asphalt Rubber Asphaltic Concrete*) de acordo com o ADOT *Construction Manual, Section 414*. Para a confecção das misturas asfálticas foram utilizados agregados graníticos e um filer calcário calcítico, de procedência portuguesa, apresentando as mesmas características dos agregados encontrados no Brasil. A Figura 1 apresenta as curvas granulométricas das misturas estudadas.

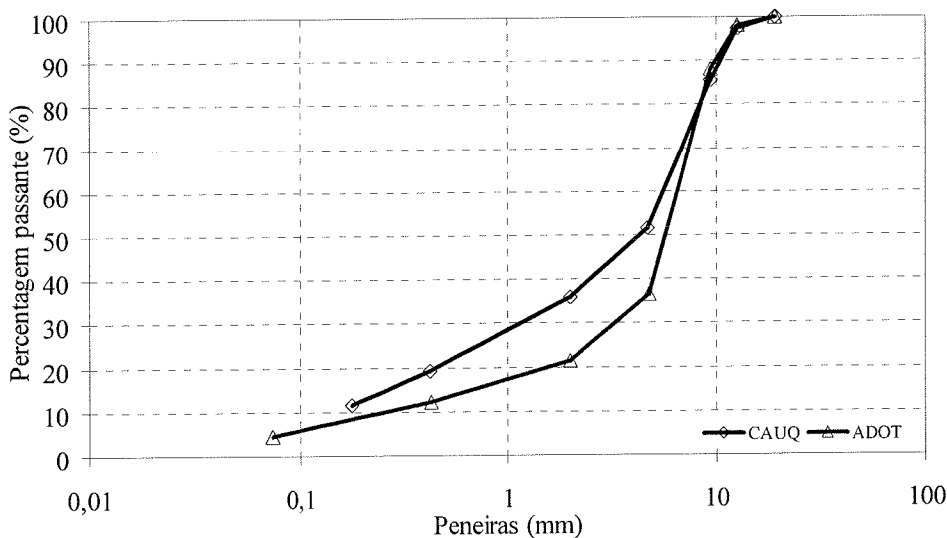


Figura 1. Curvas granulométricas ADOT (*gap graded*) e CAUQ

A determinação do teor ótimo de projeto e dos parâmetros volumétricos das misturas asfálticas foi realizada através do método Marshall, de acordo com a norma ASTM D 1559.

Tabela 3. Parâmetros Marshall

Mistura	Teor ótimo de projeto (%)	Volume de vazios (%)
ADOT	8,5 (7,5 a 8,5)	6,0 (5,5 ± 1,0)
CAUQ	5,5	4,0 (3,0 ± 5,0)

5. RESULTADOS DOS ENSAIOS DE FADIGA E MÓDULO

Após a formulação das misturas foram moldadas placas (75 cm de comprimento, 49 cm de largura e 8 cm de espessura) para a obtenção de corpos-de-prova para os ensaios de módulo dinâmico e de fadiga. A compactação foi realizada através de um rolo liso até ser atingida a densidade aparente de projeto obtida na dosagem Marshall. As placas são serradas para a obtenção dos corpos-de-prova prismáticos (vigas) com dimensões padronizadas de 381x50x60 cm³, como ilustra a Figura 2. A seleção dos corpos-de-prova a serem ensaiados é realizada através da medição das dimensões e da sua massa específica aparente.

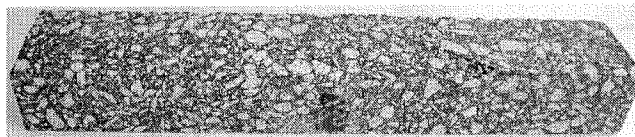


Figura 2. Viga para ensaios de fadiga e de módulo

O ensaio utilizado para avaliação da resistência à fadiga foi o da flexão a quatro pontos em vigas, conforme preconiza a norma AASHTO TP8-94 (*Standard Test Method for Determining the Fatigue Life of Compacted Hot Mix Asphalt (HMA) Subjected to Repeated Flexural Bending*). Neste ensaio, as vigas são submetidas a uma carga ou uma deformação controlada, em um sistema de carregamento central com força F_0 em dois pontos. Uma carga de intensidade $F_0/2$ é aplicada nos terços médios da viga, de modo a induzir em sua face inferior, uma deformação específica de tração predefinida. O dispositivo de flexão em 4 pontos (Figura 3) encontra-se inserido em uma câmara climática.

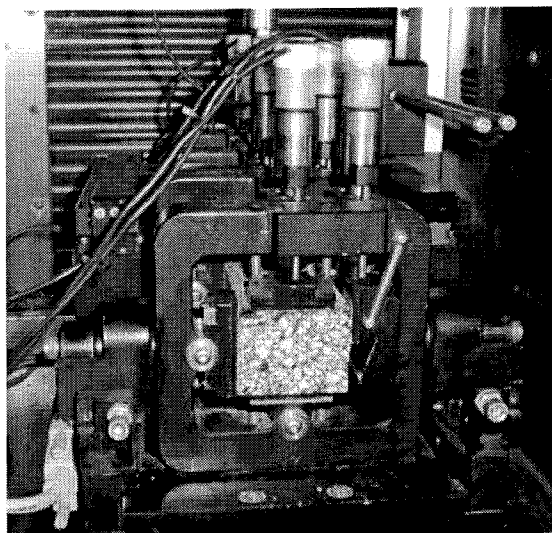


Figura 3. Dispositivo de flexão em 4 pontos

Antes da realização dos ensaios, os corpos-de-prova são mantidos em temperaturas controladas por 24 horas. Os mesmos corpos-de-prova dos ensaios de fadiga são utilizados para a determinação do módulo dinâmico. A determinação do módulo dinâmico é realizada antes do ensaio de fadiga, aplicando-se um carregamento sinusoidal correspondente a uma deformação máxima de tração na base do corpo-de-prova de 100×10^{-6} (valor este que não compromete a rigidez da amostra). Os ensaios (ASTM 3497, 1995) foram nas seguintes frequências 10; 5; 2; 1; 0,5; 0,2 e 0,1 Hz, a uma temperatura de 20 °C.

Os ensaios para determinação da resistência à fadiga das misturas asfálticas foram realizados em deformação controlada, sendo os resultados expressos em termos do número médio de ciclos que produz uma redução de 50% na rigidez da mistura. Foram realizadas em 3 repetições para cada um dos níveis de deformação selecionados (200×10^{-6} , 400×10^{-6} e 800×10^{-6}), obtidos através de um carregamento sinusoidal alternado sem período de repouso. Os ensaios foram conduzidos a uma temperatura de 20 °C e frequência de 10 Hz.

A determinação das leis de fadiga corresponde a um ajuste de uma função de potência, de acordo com a Equação 1, aos resultados obtidos nos ensaios. Os parâmetros obtidos e o valor do módulo dinâmico são apresentados na Tabela 4, considerando a deformação específica expressa em 10^{-6} , verifica-se um bom ajuste para as duas misturas.

Tabela 4. Parâmetros experimentais obtidos para as leis de fadiga e módulo dinâmico

Parâmetro	ADOT	CAUQ
a	$1,27 \times 10^{+20}$	$2,15 \times 10^{+15}$
b	5,490	4,124
R ²	0,95	0,95
Módulo dinâmico (MPa)	5454	6314

Com base nas leis de fadiga, e por extrapolação, foi possível determinar o N_{100} , número de aplicações de carga para uma deformação de 100×10^{-6} para as duas misturas, como apresentado na Figura 4. De acordo com a Figura 4, a mistura com asfalto-borracha *terminal blend* ADOT obteve um desempenho muito superior em relação à mistura convencional CAUQ com asfalto CAP-50/70.

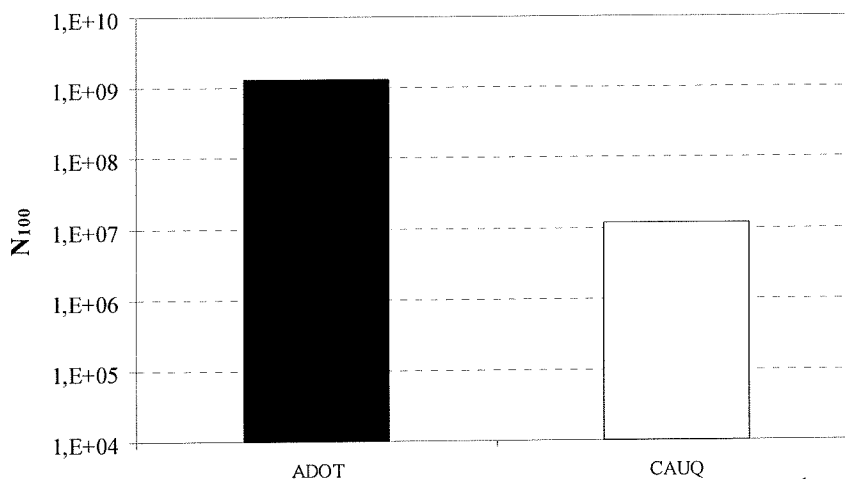


Figura 4. N₁₀₀ para uma deformação específica de tração de 100×10^{-6}

6. DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO

A análise dos resultados obtidos foi realizada em termos de comparação da resistência à fadiga que cada mistura obteve no ensaio. No entanto, somente através destes resultados não é possível estabelecer um julgamento adequado das qualidades mecânicas das misturas asfálticas, observando-se independentemente os valores dos módulos e da fadiga. A comparação dos resultados passa necessariamente pela análise da estrutura do pavimento através do dimensionamento da estrutura.

Com este entendimento, foi realizado o dimensionamento de uma via de tráfego médio com $N_{80kN} = 10^7$ (Corpo de Engenheiros do Exército Americano). A Figura 5 apresenta uma estrutura típica de pavimento dimensionado através do Método do DNER (DNIT, 2006), que está assente sobre um subleito argiloso (módulo de 60 MPa) e é composta por uma base granular com espessura de 25 cm ($M = 300$ MPa) e um revestimento, de espessura de 7,5 cm, composto pelas duas misturas (ADOT e CAUQ). Os módulos das misturas asfálticas foram obtidos em laboratório (Tabela 4).

Revestimento M = variável, $\nu = 0,35$, e = 7,5 cm
Base granular M = 300 MPa, $\nu = 0,40$, e = 20 cm
Sub-base granular M = 200 MPa, $\nu = 0,40$, e = 25 cm

Subleito M = 60 MPa e $\nu = 0,45$

Figura 5. Estrutura hipotética de dimensionamento típica da região sul do Brasil

Após pré-dimensionamento da estrutura, realizou-se a análise mecanicista com o auxílio do programa Bisar 3.0 para a análise tensão deformação da estrutura, o qual permite se obter a solução numérica em uma estrutura submetida a uma carga uniforme distribuída sobre uma área circular e comportamento elástico linear dos materiais, sendo cada camada definida pelo seu módulo (M) e seu coeficiente de Poisson (ν). O raio da área (0,105 m) foi obtido considerando um eixo simples padrão de quatro pneus com pressão de 560 kPa e uma carga total de 80 kN. A Tabela 5 apresenta os resultados obtidos da análise mecanicista com o programa Bisar 3.0, na qual, com o valor da deformação de cada camada asfáltica (ADOT e CAUQ), foi aplicada a lei de fadiga de cada mistura (Tabela 4).

Tabela 5. Resultados obtidos com o Bisar 3.0

Parâmetro	ϵ_t (10^{-6})	N_{80kN} estimado
Mistura ADOT (asfalto borracha)	190	$4,0 \times 10^7$
Mistura CAUQ (CAP-50/70)	180	$1,1 \times 10^6$

Os resultados obtidos através da análise tensão-deformação mostraram que a mistura convencional não atingiria a vida de projeto, enquanto que com a opção pela mistura com asfalto-borracha a vida útil seria mais de 30 vezes superior ao tráfego estimado. Neste caso poder-se-ia avaliar a redução da espessura da camada de revestimento. Os resultados da análise mecanicista mostram que, para os valores adotados, uma estrutura de pavimento dimensionado pelo método do



DNER/81 não suportaria o tráfego de projeto caso o revestimento asfáltico fosse executado com mistura convencional. Caso se optasse por utilizar uma mistura com asfalto borracha, a estrutura não somente atenderia ao tráfego de projeto como poderia ter a sua espessura de revestimento reduzida. Desta forma, a adoção de misturas de melhor desempenho, embora com um custo unitário maior, poderá levar uma economia de recursos para os municípios.

7. CONCLUSÕES

Neste trabalho foram obtidas leis de fadiga de duas misturas asfálticas, uma com asfalto convencional CAP-50/70 e outra com asfalto-borracha do tipo *terminal blend* com 20% de borracha incorporada. A mistura convencional estudada foi a CAUQ Faixa “C” do DNIT, comumente utilizada em camadas de revestimento na região sul do Brasil e a mistura com asfalto borracha foi a *gap graded* ADOT.

Os resultados dos ensaios de caracterização dos asfaltos mostraram que o asfalto-borracha apresenta um ponto de amolecimento mais elevado do que o CAP-50/70, assim como a viscosidade, o que se traduz em um indicativo de uma melhoria da resistência à deformação permanente. O resultado do ensaio resiliência, representativo da capacidade de recuperação elástica, mostrou que a incorporação da borracha de pneus altera positivamente o comportamento do asfalto convencional.

Para a determinação da resistência à fadiga das misturas asfálticas estudadas foi utilizado o ensaio de flexão alternada em 4 pontos, em modo deformação controlada. No mesmo dispositivo do ensaio de fadiga, em laboratório foi obtido também o módulo dinâmico das misturas. Os resultados dos ensaios de módulo permitiram concluir que a mistura com asfalto-borracha apresentou um módulo dinâmico mais baixo que mistura convencional, que representa uma maior resposta elástica e mais flexibilidade na estrutura do pavimento.

Tendo em conta avaliar os resultados de módulo e de fadiga obtidos em laboratório para as misturas estudadas, foi realizado o dimensionamento de uma estrutura típica de pavimento utilizada no sul do Brasil. Inicialmente foi realizado um pré-dimensionamento através do Método do DNER. Em seguida realizou-se a análise mecanicista com o auxílio do programa BISAR 3.0 no qual determinou-se a deformação de tração instalada no fundo da camada de revestimento. Foi utilizada a mesma estrutura de pavimento, modificando-se apenas o valor do módulo dinâmico do revestimento para as duas misturas ADOT e CAUQ.

Os resultados da análise mecanicista mostram que, para os valores adotados, uma estrutura de pavimento dimensionado pelo método do DNER/81 não suportaria o tráfego de projeto caso o revestimento asfáltico fosse executado com mistura convencional. Caso se optasse por utilizar uma mistura com asfalto borracha, a estrutura não somente atenderia ao tráfego de projeto como poderia ter a sua espessura de revestimento reduzida. Desta forma, a adoção de misturas de melhor desempenho, embora com um custo unitário maior, poderá levar uma economia de recursos para os municípios.

8. AGRADECIMENTOS

O primeiro autor agradece ao Programa ALβAN (Programa de Bolsas de Alto Nível da União Europeia para a América Latina), pela bolsa nº E04D040507BR durante os trabalhos em Portugal e ao CNPQ (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pela bolsa no Brasil.

Os autores agradecem à empresa GRECA Distribuidora de Asfaltos pelo fornecimento dos materiais asfálticos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Antunes, M.L.; Baptista, F.; Eusébio, M.I.; Costa, M.S.; Miranda, C.V. Characterization of Asphalt Rubber Mixtures for Pavement Rehabilitation Projects in Portugal. Asphalt Rubber 2000, Proceedings. Vilamoura, Portugal, 2000.

Antunes, M.L.B.C. Modelação do Comportamento de Pavimentos Rodoviários Flexíveis. Programa de Investigação e Programa de Pós Graduação Apresentados para a Obtenção do Título de “Habilitado para o Exercício de Funções de Coordenação de Investigação Científica”. Lisboa, Portugal, 2005.

Baker, T.E.; Allen, T.M.; Jenkins, D.V.; Mooney, T.M.; Pierce, L.M.; Christie, R.A.; Weston, J.T. 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, 2003.

Caltrans. Asphalt Rubber Usage Guide. State of California Department of Transportation. Materials and Testing Services. Office of Flexible Pavement Materials. Sacramento, California, USA, 2003

Di Benedetto, H. & De La Roche, C. State of the Art on Stiffness Modulus and Fatigue of Bituminous Mixtures. RILEM Report 17. Bituminous Binders and Mixes. Brussels, Belgium, 1998.



DNIT. Departamento Nacional de Infra Estrutura de Transportes. Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos, 2ª Edição. Ministério dos Transportes – DNIT, Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Publicação IPR 720. Rio de Janeiro, Brasil, 2006.

Francken, L. RILEM Interlaboratory Test on Binder Rheology. Proceedings of the Fifth International Rilem Symposium MTBM – Mechanical Tests for Bituminous Materials. Lyon, France, 1997.

Gallego, J.; Tomás, R.; Nasetti, R.A.; Daguerre, L.; Bianchetto, H.D. Laboratory Performance of Several Spanish Asphalt Paving Mixes Produced with Asphalt Rubber. Asphalt Rubber 2000 – Proceedings. Vilamoura, Portugal, 2000.

Heitzman, M. Design and Construction of Asphalt Paving Materials with Crumb Rubber. Transportation Research Record n° 1339, Transportation Research Board, Washington, DC, USA, 1992.

Hicks, R.G. Asphalt Rubber Design and Construction Guidelines, Volume I – Design Guidelines. Northern California Rubberized Asphalt Concrete Technology Center (NCRACTC) and California Integrated Waste Management Board (CIWMB). Sacramento, California, USA, 2002.

Momm, L. Estudo dos Efeitos da Granulometria sobre a Macrotextura Superficial do Concreto Asfáltico e seu Comportamento Mecânico. Tese de Doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Transportes. São Paulo, Brasil, 1998.

Monismith, C.L.; Epps J.A.; Kasianchuk A.; McLean D.B. Asphalt Mixture Behaviour on Repeated Flexure. Report No. TE 70-5, University of California, Berkeley, USA, 1971.

Morilha, Jr.A. & Greca, M.R. Asfalto Borracha Ecoflex. Greca Asfaltos. Curitiba, Paraná, Brasil, 2003.

Pais, J.C. Consideração da Propagação de Fendas no Dimensionamento de Reforços de Pavimentos Flexíveis. Tese de Doutorado. Universidade do Minho. Guimarães, Portugal, 1999.

Partl, M.N. & Francken, L. Background of RILEM Interlaboratory Tests. Basic Elements of a Testing Methodology for Bituminous Pavement Materials and Significant Features for Testing. RILEM Report 17. Bituminous Binders and Mixes. Brussels, Belgium, 1998.

Roberts, F.L.; Kandhal, P.S.; Brown, E.R.; Dunning, R.L. Investigation and Evaluation of Ground Tire Rubber in Hot Mix Asphalt. National Center for Asphalt Technology n° 89-3. Auburn, Alabama, USA, 1989.

Shatnawi, S. & Holleran, G. Asphalt Rubber Maintenance Treatments in California. Asphalt Rubber 2003, Proceedings. Brasília, Brazil.

Shatnawi, S. & Long, B. Performance of Asphalt Rubber as Thin Overlays. Asphalt Rubber 2000, Proceedings. Vilamoura, Portugal, 2000.

Sousa, J.B.; Fonseca, P.; Freire, A.; Pais, J.C. Comparação da Vida à Fadiga e Deformação Permanente entre Misturas com Asfalto Modificado com Borracha Reciclada de Pneus Convencionais. Relatório Consulpav EST 99-07. Portugal, 1999.

Takallou, H.B. & Takallou M.B. Effects of Mixing Time and Temperature on the Visco elastic Properties of Asphalt Rubber Binder. Asphalt Rubber 2003, Proceedings. Brasília, Brasil, 2003.

TFHRC – Turner Fairbank Highway Research Center. User Guidelines for Waste and Byproduct Materials in Pavement Construction. FHWA, Federal Highway Administration. Washington, DC, USA, 2005.

Van Kirk, J. & Holleran, G. Reduced Thickness Asphalt Rubber Concrete Leads to Cost Effective Pavement Rehabilitation. 1st International Conference World of Pavements. Sydney, Australia; 2000.

Visser, A.T. & Verhaeghe, M.B. Bitumen Rubber: Lessons Learned in South Africa. Asphalt Rubber 2000, Proceedings. Vila Moura, Portugal, 2000.

Way, G.B. OGFC Meets CRM: Where the Rubber Meets the Rubber: 15 Years of Durable Success. Asphalt Rubber 2003, Proceedings. Brasília, Brasil, 2003.