

# AVALIAÇÃO DE MISTURAS ASFÁLTICAS SMA PRODUZIDAS COM LIGANTE ASFALTO-BORRACHA QUANTO AO MÓDULO DE RESILIÊNCIA, A RESISTÊNCIA À TRAÇÃO E A FADIGA

Cláudio L. D. Neves Filho<sup>1</sup>, Liedi L. B. Bernucci<sup>2</sup>, José Leomar Fernandes Jr<sup>3</sup>

Copyright 2004, Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás - IBP

Este Trabalho Técnico foi preparado para apresentação no 17º Encontro de Asfalto, realizada no período de 13 a 15 de dezembro de 2004, no Rio de Janeiro. Este Trabalho Técnico foi selecionado para apresentação pelo Comitê Organizador do Evento, seguindo as informações contidas na sinopse e no trabalho completo submetidos pelo(s) autor(es). O conteúdo do Trabalho Técnico, como apresentado, não foi revisado pelo IBP. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões do Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás, Sócios e Representantes. É de conhecimento e aprovação do(s) autor(es) que este Trabalho Técnico seja publicado nos Anais do 17º Encontro de Asfalto.

## Resumo

As misturas asfálticas do tipo SMA apresentam granulometria descontínua, composta por uma maior fração de agregados graúdos, uma rica massa de ligante/filer (mastique) e aproximadamente 4% de volume de vazios. Possuem um esqueleto pétreo de alta estabilidade devido ao contato pedra-pedra, que proporciona uma maior resistência à deformação permanente. Geralmente apresentam um teor de ligante asfáltico superior a 6% e maior do que o das misturas de concreto asfáltico convencional, formando uma película asfáltica mais espessa. São utilizadas fibras para evitar o escorrimento do ligante e, geralmente, são usados asfaltos modificados por polímero. Esta pesquisa tem por objetivo avaliar se o ligante asfalto-borracha possibilita misturas asfálticas SMA capazes de atender aos valores limites de aceitação e, por meio de ensaios de laboratório (resistência à tração, módulo de resiliência e fadiga), comparar o comportamento de misturas SMA com diferentes tipos de ligante (asfalto convencional CAP 20, modificado por polímero e asfalto-borracha). Os resultados obtidos apresentam misturas SMA com bom comportamento quanto à fadiga, com parâmetros próximos dos de um concreto asfáltico convencional.

## Abstract

SMA is a gap-graded asphalt mixture with a large proportion of high quality coarse aggregate, a high content of mastic (binder/filler), and approximately 4% of air voids. The larger proportion of coarse aggregate provides a greater stone-to-stone contact, which results in a mixture more resistant to permanent deformation than the conventional Hot Mix Asphalt (HMA). The asphalt content is greater than 6.0 percent and higher than the content typically used for a conventional HMA, which increases the film thickness. Fibers are used to prevent drainage of the asphalt binder during the HMA production and placement, and polymer-modified asphalt cements are usually used. This research aims to evaluate if an asphalt-rubber binder produces SMA mixtures able to meet the technical requirements. The behavior of SMA mixtures produced with different binders (conventional AC-20, polymer-modified, and asphalt-rubber) is analyzed based on laboratory tests (tensile strength, resilient modulus and fatigue). The results show that SMA mixtures have good fatigue performance, very close to conventional HMA.

## 1. Introdução

O SMA (*Stone Mastic Asphalt*, terminologia mais utilizada na Europa, ou *Stone Matrix Asphalt*, terminologia mais utilizada nos EUA) é um tipo de mistura asfáltica usada como revestimento de pavimentos rodoviários e de aeroportos, desenvolvida na Alemanha no final da década de 60 (NAPA, 2002).

A mistura asfáltica SMA apresenta granulometria descontínua, composta por uma maior fração (entre 70% e 80%) de agregados graúdos, uma rica massa de ligante/filer, chamada de argamassa ou mastique, e volume de vazios

<sup>1</sup> Mestre, Engenheiro Civil – EESC / USP

<sup>2</sup> Livre Docente, Engenheira Civil – EP / USP

<sup>3</sup> Livre Docente, Engenheiro Civil – EESC / USP

de aproximadamente 4%. Devido ao contato pedra-pedra, essas misturas formam um esqueleto de alta estabilidade e geralmente consomem mais de 6% de ligante asfáltico, teor superior ao de misturas asfálticas convencionais.

As misturas SMA vêm sendo utilizadas na Europa, em mais de 10 países, há mais de 20 anos. Na Alemanha, tornou-se padrão para camadas de revestimento para vias de tráfego pesado. Já nos EUA, houve um grande crescimento do uso de SMA durante a década de 90. Enquanto que, em 1991, apenas 4 estados tinham 50.000 toneladas desse tipo de concreto asfáltico aplicadas, em 1994 o número de estados com SMA cresceu para 23, com mais de 500.000 toneladas aplicadas. Posteriormente, o SMA chegou ao Brasil e já vem sendo aplicado em rodovias de alto volume de tráfego no estado de São Paulo.

Estudos mostram a necessidade de uso de modificadores nos ligantes para misturas SMA. Devido a um teor asfáltico mais elevado nessas misturas, há uma tendência da ocorrência de escorrimento do ligante. A inibição do escorrimento tem sido conseguida com o uso de fibras. Entre vários tipos (celulose, minerais etc), as de celulose vêm sendo utilizadas com frequência e têm apresentado bons resultados (Brown, 1993; Lanchas, 1999).

O uso do ligante asfalto-borracha, produzido com borracha de pneus descartados, tem crescido bastante, motivado não apenas pelo seu benefício ambiental, como também pela melhora proporcionada às propriedades mecânicas do concreto asfáltico (Oda, 2000). Portanto, por se tratar de um tipo de ligante já em uso comercial, torna-se bastante clara a necessidade de se avaliar o seu comportamento quando utilizado em misturas SMA.

Deste modo, esta pesquisa tem por objetivo avaliar se o ligante asfalto-borracha possibilita misturas asfálticas SMA capazes de atender aos valores limites de aceitação. E, através de ensaios de laboratório, avaliar o comportamento das misturas SMA com diferentes tipos de ligante.

## 2. Misturas Asfálticas SMA

### 2.1. Agregados

As misturas asfálticas SMA possuem uma curva granulométrica descontínua, onde prevalecem os agregados graúdos, aproximadamente 70%. Dessa forma, há um maior contato pedra-pedra, sendo recomendado o uso de agregados britados de alta qualidade com uma boa microtextura e sempre virgens, ou seja, não sendo provenientes de revestimentos reciclados. Na maioria dos países da Europa é exigido o uso de agregados 100% britados (EAPA, 1998).

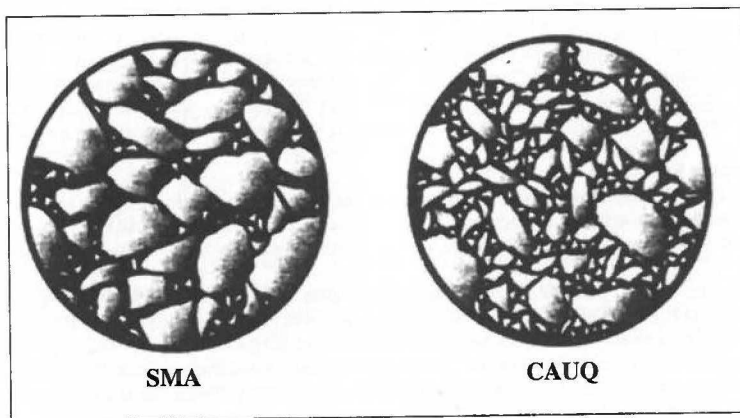


Figura 1. Esqueleto pétreo de uma mistura SMA e de um CAUQ (NAPA, 2002)

Para garantir a estabilidade da mistura, tem-se uma argamassa (mastique) rica em filler e betume. Nas misturas SMA, o teor de filler (material passado na peneira 200) situa-se entre 8% e 13%, um pouco acima do de um concreto asfáltico convencional. A Figura 1 dá uma idéia do esqueleto pétreo de uma mistura SMA, com o mastique envolvendo os agregados e proporcionando estabilidade, comparado a um concreto asfáltico convencional de distribuição granulométrica contínua (CAUQ).

## 2.2. Ligante Asfáltico

As misturas SMA possuem uma película de ligante asfáltico mais espessa, com teor entre 1% e 1,5% superior ao de concretos asfálticos convencionais, com o objetivo de evitar o desgaste dos agregados causado pelo contato pedra-pedra. O teor de ligante mais elevado faz com que seja necessário o uso de aditivos, geralmente polímeros e/ou fibras, buscando-se um aumento na consistência do ligante asfáltico.

Para rodovias de tráfego pesado, ligantes modificados são exigidos ou, pelo menos, recomendados. Existem países, como Itália e Portugal, por exemplo, em que o uso de asfalto com polímero é obrigatório quando se trata de uma mistura SMA (EAPA, 1998). O uso de ligantes modificados é justificado por algumas razões: aumento da resistência à deformação permanente, aumento da vida útil do revestimento e redução da necessidade de inibidores de escorrimto, embora este ainda seja necessário para algumas misturas asfálticas.

## 2.3. Uso do Ligante Asfalto-borracha

A borracha de pneus usados tem sido utilizada na pavimentação e, particularmente, nas misturas asfálticas. Nesse caso, o seu uso se dá de duas maneiras: o "processo seco", quando as partículas de borracha triturada substituem parte dos agregados na mistura e, após a adição do ligante, formam o *concreto asfáltico modificado com adição de borracha*; e o "processo úmido", onde a borracha de pneus moída é incorporada ao cimento asfáltico antes da adição do agregado, formando o *ligante asfalto-borracha*.

Os objetivos da adição de borracha de pneus em ligantes asfálticos são minimizar o problema da disposição de pneus usados e melhorar o desempenho dos pavimentos. Pesquisa realizada por Oda (2000) concluiu que o ligante asfalto-borracha pode ser benéfico aos pavimentos, melhorando as propriedades de resistência ao acúmulo de deformação permanente (maior rigidez a elevadas temperaturas) e de resistência à formação de trincas por fadiga (maior elasticidade).

## 2.4. Fibras

Fibras são adicionadas às misturas SMA para se evitar o escorrimto do ligante durante o processo de construção (produção e aplicação da mistura), especialmente durante o transporte. As fibras, geralmente, não têm influência sobre o desempenho da mistura depois da compactação, embora possibilitem um maior teor de ligante, o que gera uma película mais espessa ao redor do agregado, retardando a oxidação, a penetração de umidade e a separação dos agregados. Essas vantagens servem para proteger o concreto asfáltico do desgaste.

As fibras podem ser de vidro ou celulose e são fornecidas soltas ou peletizadas. As fibras de celulose peletizadas podem ser facilmente adicionadas à mistura asfáltica e já são de uso freqüente em misturas SMA no estado de São Paulo, com bons resultados, além de se ter registro de sucesso em pesquisas realizadas nos EUA (estados de Michigan, Wisconsin e Flórida) e no Canadá (Ontário). Segundo LANCHAS (1999), as fibras de celulose são o melhor veículo para o betume, pois são quimicamente inertes, resistentes a ácidos diluídos e soluções alcalinas e totalmente inócuas do ponto de vista fisiológico e toxicológico. Além disso, são produzidas de fontes renováveis.

## 2.5. Características Funcionais

Além de ter finalidade estrutural, por suportar as cargas provenientes do tráfego, a camada de revestimento também deve atender às condições de segurança e conforto, com adequada resistência à derrapagem (coeficiente de atrito), baixo nível de irregularidade longitudinal, baixo nível de ruído e boa visibilidade sob qualquer condição climática.

As misturas SMA têm uma macrotextura mais rugosa, ocasionada pela ausência de agregados médios. Quanto à microtextura, um revestimento com mistura SMA, quando recém construído, tem um filme de ligante mais espesso na superfície, por isso é necessário um certo período de tráfego para desgastar o filme do ligante e desenvolver uma boa microtextura. Em muitos países da Europa há a prática de aplicação de areia proveniente de britagem (0 a 2 mm) para evitar uma espera pela ação do tráfego e trazer segurança ao usuário já no início da vida em serviço da camada (EAPA, 1998).

Nas misturas asfálticas SMA, devido à forte estrutura dos agregados, o acabamento inicial da pavimentadora tem maior influência sobre a qualidade do rolamento, limitando o efeito da compactação adicional pelo rolo. Consequentemente, uma mistura asfáltica SMA pode alcançar níveis maiores de conforto se comparada a um concreto asfáltico convencional (EAPA, 1998).

Um dos ganhos apresentados pelas misturas SMA nos estudos realizados foi a redução dos ruídos do tráfego, ocasionando maior conforto aos usuários. Isto se explica pelo fato de que a macrotextura mais rugosa tem maior número de faces e arestas e, conseqüentemente, uma maior superfície para absorção do som (EAPA, 1998; Schmiedlin, 1998). Uma macrotextura mais rugosa significa mais faces não paralelas à superfície da camada de rolamento, resultando numa redução do reflexo da luz proveniente dos veículos e no borramento de água (*spray*) dos pneus, aumentando, assim, a visibilidade e trazendo mais segurança para os usuários (Lanchas, 1999; EAPA, 1998).

## 2.6. Resistência à Deformação Permanente em Trilha de Roda

A ocorrência acentuada de deformação permanente nas trilhas de roda tem duas razões principais: mau dimensionamento das camadas do pavimento, quando o acúmulo de deformações situa-se no subleito; deformações nas misturas asfálticas com baixa resistência ao cisalhamento, que depende da susceptibilidade térmica do ligante asfáltico e do esqueleto dos agregados minerais.

As misturas asfálticas SMA têm apresentado uma maior resistência à deformação permanente quando comparadas aos concretos asfálticos convencionais, como mostram várias pesquisas realizadas no Brasil, na Europa e na América do Norte (Reis, 2002; Neves Filho, 2004; EAPA, 1998; NAPA, 2002).

## 2.7. Resistência ao Aparecimento e Propagação de Trincas por Fadiga

Associada à flexibilidade das camadas de base e sub-base granulares, a repetição das solicitações de tráfego provoca o trincamento por fadiga na camada de revestimento asfáltico. Por ter um maior teor de ligante e, conseqüentemente, uma película asfáltica mais espessa, as misturas SMA têm apresentado uma boa resistência ao aparecimento e propagação de trincas por fadiga. Segundo Schmiedlin (1998), resultados de pesquisas em trechos construídos no estado de Wisconsin (EUA) indicaram, de uma maneira geral, que as misturas SMA tiveram desempenho melhor que o concreto asfáltico convencional.

## 3. Materiais e Método

### 3.1. Programação Laboratorial

As três misturas asfálticas ensaiadas são apresentadas na Tabela 1. Foram realizados os seguintes ensaios de laboratório:

- Módulo de resiliência por compressão diametral;
- Resistência à tração indireta por compressão diametral;
- Ensaio de fadiga por compressão diametral.

Tabela 1. Nome e composição das misturas asfálticas avaliadas

Nome	Granulometria	Tipo de ligante
SMA-AC	SMA DMN = 12 mm	CAP 20
SMA-AP	SMA DMN = 12 mm	Asfalto com polímero
SMA-AB	SMA DMN = 12 mm	Asfalto-borracha

### 3.2. Materiais

#### 3.2.1. Agregados

Os agregados utilizados são provenientes da pedra Bandeirantes, localizada próxima à cidade de São Carlos. Trata-se de um agregado basáltico britado, cujo filer é proveniente do peneiramento do pó de pedra. Essa fonte de agregado foi escolhida por ter sido utilizada em diversas pesquisas do Departamento de Transportes da Escola de Engenharia de São Carlos da USP (STT-EESC-USP) e em muitas obras rodoviárias da região de São Carlos-SP.

A faixa granulométrica utilizada nesta pesquisa segue a especificação AASHTO MP-8, com diâmetro máximo nominal de 12,5 mm. Essa graduação é utilizada para concreto asfáltico destinado a camadas de rolamento com espessura entre 4 e 8 centímetros. A distribuição granulométrica é apresentada na Figura 2.

#### 3.2.2. Ligante Asfáltico

Foram utilizados um cimento asfáltico convencional (CAP 20) e um asfalto modificado por polímero (5% a 6% de polímero SBS, nome comercial Betuflex B 80/60), além do asfalto-borracha, produzido com um teor de 18% de borracha moída (passada na peneira #80), misturada com o cimento asfáltico a uma temperatura acima de 200°C, durante 1 hora, aproximadamente. Para evitar a introdução de fatores não-controlados, procurou-se trabalhar com ligantes de uma mesma fonte.

No caso do cimento asfáltico convencional (CAP 20), as temperaturas de mistura e compactação foram determinadas a partir da norma DNER ME-043/95, que estabelece intervalos de viscosidade do ensaio Saybolt-Furol. Já para os ligantes modificados (asfalto com polímero e asfalto-borracha), foram utilizados resultados do ensaio de

viscosidade aparente, obtidos com Viscosímetro Brookfield (Método ASTM D 4402). Nesse caso, as viscosidades do ligante para mistura e compactação do concreto asfáltico no ensaio de dosagem Marshall foram, respectivamente, de 200 cP e 300 cP (ABNT - NBR 12891).

A partir dos resultados de caracterização dos ligantes asfálticos CAP 20, asfalto modificado por polímero e asfalto-borracha são apresentados os intervalos de temperatura para mistura e compactação do concreto asfáltico (Tabela 2).

### 3.2.3. Fibras

Foram utilizadas fibras de celulose, nome comercial VIATOP 66, com teor em peso de 0,3 % do total da mistura, doadas pela empresa Ecofibras. Trata-se de uma fibra de celulose envolta em asfalto e na forma peletizada (grãos). O número 66 indica que contém 66% de fibra e 34 % de asfalto.

Tabela 2. Temperatura para mistura e compactação das misturas asfálticas

	CAP 20	Asfalto com polímero	Asfalto-borracha
Mistura	151°C a 156°C	170°C a 174°C	167°C a 171°C
Compactação	139°C a 144°C	165°C a 169°C	164°C a 168°C

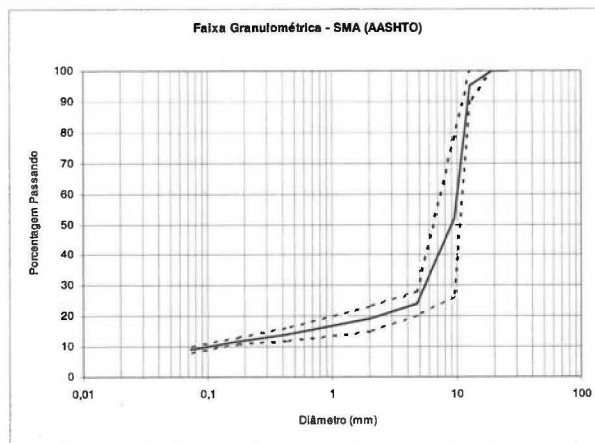


Figura 2. Faixa Granulométrica do SMA (DMN = 12,5 mm – AASHTO, 2000)

## 3.3. Avaliação das Propriedades Mecânicas

### 3.3.1. Resistência à Tração e Módulo de Resiliência

A resistência à tração das misturas asfálticas é obtida através do ensaio de compressão diametral aplicado a corpos de prova cilíndricos, seguindo o método DNER-ME 138/94. Neste trabalho, a mistura foi produzida com teor asfáltico de projeto e os corpos de prova moldados no compactador Marshall. O ensaio foi realizado a uma temperatura de 25°C.

Cada vez mais, o dimensionamento de pavimentos flexíveis é feito através de métodos mecanísticos, que requerem o módulo de resiliência da mistura asfáltica utilizada no revestimento do pavimento, que pode ser determinado a partir de diferentes métodos. Neste trabalho, foi realizado o ensaio de tração indireta com carga repetida, seguindo o método DNER-ME 133/94, onde foram utilizados corpos de prova moldados no compactador Marshall, com teor asfáltico de projeto, temperatura do ensaio de 25 °C e carga aplicada correspondente a, aproximadamente, uma tensão equivalente a 15% da resistência à tração da mistura asfáltica.

Os ensaios de resistência à tração e módulo de resiliência foram realizados no Laboratório de Tecnologia de Pavimentação da Escola Politécnica da USP (LTP-EPUSP).

### 3.3.2. Ensaio de Fadiga

Os corpos de prova foram moldados no compactador Marshall, com teor asfáltico de projeto. O ensaio foi realizado a uma temperatura de 25 °C e a carga foi aplicada até que ocorresse a ruptura do corpo de prova, ou quando o deslocamento fosse superior a 3,5 mm. A curva de fadiga de cada mistura asfáltica é obtida em um gráfico do número de repetições em função da diferença de tensões ( $\Delta\sigma$ ) de tração e de compressão no centro do corpo de prova, que permite a comparação das misturas com relação à resistência ao aparecimento e propagação de trincas por fadiga. O ensaio de fadiga foi realizado no LTP-EPUSP.

## 4. Análise dos Resultados

### 4.1. Seleção do Teor Asfáltico de Projeto

O teor asfáltico de projeto foi selecionado a partir dos resultados da dosagem Marshall para as misturas de SMA. Primeiramente foi feita uma dosagem Marshall com CAP 20, porém os resultados não foram satisfatórios. O processo de usinagem e compactação dos corpos de prova foi revisto e foram realizadas novas dosagens Marshall, utilizando asfalto modificado por polímero e com asfalto-borracha.

O valor do teor asfáltico de projeto selecionado para as misturas SMA foi de 6,5%, correspondente a um volume de vazios bem próximo de 4% nas duas dosagens realizadas, com asfalto-polímero e com asfalto-borracha. A proximidade dos resultados de volume de vazios motivou a escolha de um teor único para as três misturas de SMA avaliadas neste trabalho. O teor asfáltico escolhido atende às exigências da especificação DNER-ES 313/97.

Pôde-se calcular, então, a espessura média da película de ligante, considerando-se os grãos esféricos e com mesmo diâmetro, igual ao valor médio do intervalo entre peneiras. A espessura foi de 11,3  $\mu\text{m}$ , próximo de 50% superior a de um concreto asfáltico convencional, que se situa em torno de 8  $\mu\text{m}$ . Uma película asfáltica mais espessa retarda o desgaste e, para evitar a exsudação do concreto asfáltico, são utilizadas fibras para impedir o escoamento do ligante.

### 4.2. Resistência à Tração e Módulo de Resiliência

A resistência à tração e o módulo de resiliência foram ambos determinados por compressão diametral, seguindo as normas DNER-ME 138/94 e DNER-ME 133/94, respectivamente. Foram moldados corpos de prova no compactador Marshall para as três misturas, com os teores estabelecidos no item 4.1. As temperaturas de usinagem e compactação são apresentadas na Tabela 2.

A Tabela 3 apresenta os resultados do ensaio de resistência à tração indireta. Pode-se observar que as misturas SMA tiveram valores de resistência à tração dentro de uma mesma ordem de grandeza, com a mistura com polímero apresentando uma maior resistência à tração.

Tabela 3. Resistência à tração indireta por compressão diametral (MPa)

Misturas	Resistência à Tração (MPa)			Média (MPa)
SMA-AC	1,187	1,168	1,054	1,137
SMA-AP	1,591	1,543	1,565	1,567
SMA-AB	0,955	1,137	1,076	1,056

Os valores de módulo de resiliência das misturas asfálticas SMA ficaram num mesmo patamar e a diferença entre eles está dentro da variação do ensaio, indicando que as misturas SMA apresentaram valores de módulo de resiliência na mesma ordem de grandeza de misturas asfálticas convencionais, não sendo, portanto, considerada uma mistura asfáltica rígida.

Tabela 4. Resultados do ensaio de módulo de resiliência

Misturas	Módulo de Resiliência (MPa)					Média (MPa)
SMA-AC	7.517	8.716	6.144	6.856	-	7.308
SMA-AP	8.516	8.641	7.807	7.527	6.686	7.836
SMA-AB	7.648	8.571	5.606	-	-	7.275

A relação entre o módulo de resiliência e a resistência à tração (MR/RT) permite avaliar o comportamento das misturas asfálticas com relação ao trincamento. Quanto menor o valor de MR/RT, melhor o comportamento mecânico da mistura, pois se une flexibilidade a uma boa resistência à tração. Uma diminuição da relação MR/RT pode ocasionar até a utilização de espessuras menores da camada de revestimento para uma mesma vida de fadiga. A Tabela 5 apresenta os resultados de MR/RT para cada mistura avaliada nesta pesquisa.

Os valores da relação MR/RT mostram que a mistura com asfalto modificado por polímero (SMA-AP) teve o melhor resultado, porém o uso de polímero só é justificado quando a diminuição da relação MR/RT ocasionar uma menor espessura de revestimento ou uma vida de fadiga mais extensa.

Tabela 5. Relação entre o módulo de resiliência e a resistência à tração

Misturas	MR/RT
SMA-AC	6.429
SMA-AP	5.002
SMA-AB	6.890

#### 4.3. Ensaio de Fadiga

O ensaio de fadiga foi realizado com corpos de prova cilíndricos, idênticos aos dos ensaios de módulo de resiliência e de resistência à tração, também submetidos a carregamento diametral, sob temperatura de 25°C. Com o valor de resistência à tração de cada mistura foram calculadas as cargas correspondentes aos diferentes níveis de tensão a que o corpo de prova seria submetido (10, 20, 30, 40 e 50%).

As regressões das curvas de fadiga seguem a Equação 1, com as quais são obtidos parâmetros de fadiga ("k" e "n") para cada mistura asfáltica avaliada, conforme resumido na Tabela 6.

$$N = k \cdot \left( \frac{1}{\Delta\sigma} \right)^n \quad (1)$$

Tabela 6. Parâmetros de fadiga das misturas asfálticas avaliadas

Misturas	k	n
SMA-AC	1.427	4,0026
SMA-AP	6.116	4,6125
SMA-AB	2.006	3,2797



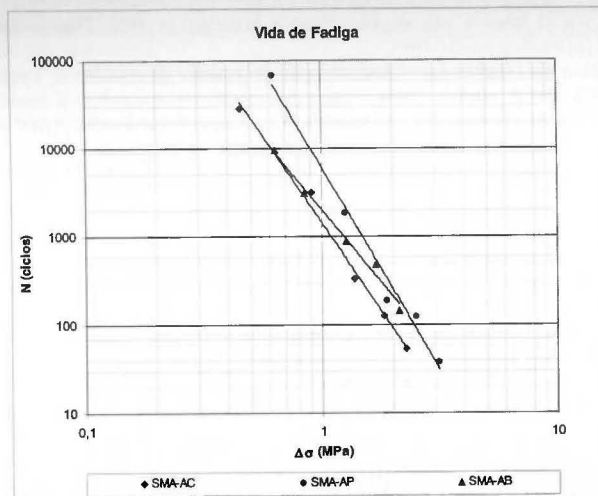


Figura 3. Gráfico do ensaio de fadiga

A Figura 3 mostra as curvas de fadiga das três misturas avaliadas, dessa forma facilita-se a comparação do desempenho das misturas com relação à resistência ao aparecimento de trincas por fadiga. Como se pode ver, as misturas SMA tiveram um desempenho satisfatório se comparadas a misturas asfálticas com curva de fadiga publicadas na literatura (Pinto, 1991; Motta et al., 2002 etc). A mistura com melhor desempenho à fadiga foi a SMA-AP, devido à ação proporcionada pelos polímeros.

## 5. Conclusões

Conforme verificado neste trabalho, as misturas SMA possuem uma película asfáltica mais espessa, da ordem de 50% maior à de uma mistura com granulometria contínua, o que é uma vantagem quanto à inibição do desgaste. Por outro lado, têm uma maior susceptibilidade ao escorrimento do ligante, que é evitado com a utilização de fibras. O teor de fibras pode ser até reduzido, quando do uso de ligantes mais viscosos, como asfalto-borracha, por exemplo.

Quanto à resistência ao aparecimento e propagação de trincas por fadiga, as misturas asfálticas SMA tiveram um desempenho satisfatório, com parâmetros de fadiga similares aos de concretos asfálticos convencionais publicados na literatura. A mistura com asfalto modificado por polímero teve o melhor desempenho à fadiga, porém o seu uso só deve ser justificado se for associado a uma redução de espessura, tendo em vista que o seu custo é mais elevado.

Tendo em vista que as misturas asfálticas SMA possuem uma maior resistência à deformação permanente (Neves Filho, 2004) e comportamento à fadiga similar ao de um CAUQ convencional, o seu uso é justificado em rodovias de tráfego pesado.

## 6. Agradecimentos

À FAPESP pelo apoio financeiro concedido para a realização do trabalho.

## 7. Referências

- AASHTO. *MP-8 – Specification for Designing SMA*. American Association of State Highways Transportation Officials, 2000.
- ABNT. *NBR.12891: Dosagem de Misturas Betuminosas pelo Método Marshall: Procedimento*. Rio de Janeiro, 1993.



- BROWN, E. R.. Evaluation of Stone Mastic Asphalt Used in Michigan in 1991. *Transportation Research Record*, Washington, D. C., n. 1427, p. 54-60, 1993.
- DNER. *ME 133/94 – Misturas betuminosas - determinação do módulo de resiliência*. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Rio de Janeiro, 1994a.
- DNER. *ME 138/94 – Misturas betuminosas – determinação da resistência à tração por compressão diametral*. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Rio de Janeiro, 1994b.
- DNER. *ME 043/95 – Misturas betuminosas a quente - Ensaio Marshall*. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Rio de Janeiro, 1995.
- DNER. *Especificação de serviço DNER-ES 313/97 Pavimentação - concreto betuminoso*. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Rio de Janeiro, 1997.
- EAPA – European Asphalt Paving Association. *Heavy Duty Surfaces: The Arguments for SMA*. Holanda, 1998.
- LANCHAS, S.. Características del Stone Mastic Asphalt SMA. In: *Congresso Ibero-Latinoamericano del Asfalto*, 10., Sevilla, Espanha, 1999.
- MOTTA, L. M. G., MEDINA, J., SOUSA, A. M.. Característica de Fadiga e Resiliência de Concretos Asfálticos Brasileiros. In: *Encontro de Asfalto*, 16., Rio de Janeiro, 2002.
- NEVES FILHO, C. L. D.. *Avaliação Laboratorial de Misturas Asfálticas SMA Produzidas com Ligante Asfalto-Borracha*. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.
- NAPA – National Asphalt Pavement Association. *Designing and Constructing SMA Mixtures – State-of-the-Practice*. Quality Improvement Series 122. Lanham, MD, EUA, 2002.
- ODA, S.. *Análise da Viabilidade Técnica da Utilização do Ligante Asfalto-Borracha em Obras de Pavimentação*. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.
- PINTO, S. *Estudo do Comportamento à Fadiga de Misturas Betuminosas e Aplicação na Avaliação Estrutural de pavimentos*. Tese (Doutorado) – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1991.
- REIS, R. M. M. *Revestimento Asfáltico Tipo SMA para Alto Desempenho em Vias de Tráfego Pesado*. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.
- SCHMIEDLIN, R. B. Stone Matrix Asphalt – The Wisconsin Experience. *Transportation Research Record*, Washington, D. C., n. 1616, p. 34-41, 1998.