

VIABILIDADE DAS FIBRAS DE COCO EM MISTURAS ASFÁLTICAS DO TIPO SMA SEGUINDO METODOLOGIA SUPERPAVE

Aline Colares do Vale
Michele Dal Toé Casagrande

Jorge Barbosa Soares
Laboratório de Mecânica dos Pavimentos
Programa de Mestrado em Engenharia do Transportes
Universidade Federal do Ceará

RESUMO

As misturas asfálticas do tipo SMA (Stone Mastic Asphalt) são caracterizadas por apresentarem uma graduação descontínua, com elevada quantidade de agregados graúdos e percentagem de volume de vazios de aproximadamente 4%. Estas misturas apresentam elevado teor de ligante asfáltico, 6% a 7% em peso da mistura. Durante as operações de mistura e compactação a elevadas temperaturas, são incorporadas fibras às misturas, em geral, de celulose. Esta pesquisa tem como objetivo avaliar a viabilidade da incorporação das fibras de coco nas misturas do tipo SMA. Para isto as misturas asfálticas do tipo SMA confeccionadas foram submetidas a ensaios de escorrimento, resistência à tração, módulo de resiliência, fadiga e resistência à tração retida por umidade induzida. Os valores encontrados foram comparados a outros obtidos para misturas SMA confeccionadas com fibra de celulose, apresentando mesma granulometria, agregados e ligante asfáltico. Os resultados encontrados mostram que a fibra de coco atende às exigências do ensaio de escorrimento e não interfere nos parâmetros mecânicos da mistura.

ABSTRACT

The use of SMA (Stone Matrix Asphalt) technology has been popular in some countries and the Brazilian literature presents already some experiences in Brazil. These mixtures are characterized by presenting a discontinuous gradation, with high coarse aggregate content. During mixing and compaction at high temperatures, fibers are incorporated into the mixtures. Typically, cellulose fibers are used. This research presents the evaluation of the potential use of coconut fibers in the mixture by means of laboratory tests in which a flow parameter is analyzed, as well as the mechanical properties of the mixture: tensile strength, resilient modulus, fatigue life and resistance to moisture damage. The results show that the coconut fibers meet current requirements.

1. INTRODUÇÃO

O aumento do interesse pelo desenvolvimento de materiais mais resistentes para os pavimentos rodoviários se insere no contexto da melhoria das condições das vias a partir da diminuição dos defeitos funcionais e estruturais. As deformações permanentes podem ocorrer devido às solicitações das cargas elevadas associadas a elevadas temperaturas, enquanto o alto grau de trincamento pode ser observado decorrente da fadiga dos revestimentos quando não são utilizados materiais e/ou projetos adequados (Mourão, 2003).

A granulometria dos agregados é um dos elementos mais importantes em uma mistura asfáltica, visto que ela afeta quase todas as propriedades físicas da mistura. A prática mais comum, não só no estado do Ceará, como no país, é a utilização de misturas asfálticas densas e com graduação contínua. Porém, em países europeus e nos Estados Unidos a utilização de misturas abertas e/ou descontínuas vem aumentando, devido principalmente ao bom comportamento mecânico em relação à deformação permanente e trincamento por fadiga, são denominadas misturas asfálticas do tipo SMA (Stone Mastic Asphalt) (Mourão, 2003).

As experiências com o SMA têm mostrado de forma geral que se trata de um revestimento de

alto desempenho estrutural e funcional. Essas misturas caracterizam-se por apresentar granulometria descontínua definida pela predominância dos agregados graúdos (70% a 80% em peso) que conferem um esqueleto sólido de alta estabilidade, razão pela qual, necessitam da adição de fibras, como por exemplo, as fibras de celulose ou de coco, para evitar o escorrimento do ligante asfáltico por entre os vazios da mistura. Misturas do tipo SMA apresentam normalmente elevada percentagem de ligante asfáltico, em geral 6% a 7%, em peso, e percentagem de volume de vazios de aproximadamente 4% (Vale *et al.*, 2006).

O uso das fibras de coco em misturas asfálticas do tipo SMA tem-se mostrado viável, quando feito em condições de laboratório. Entretanto, em termos práticos torna-se imperativo que seja estudado a viabilidade das fibras de coco durante o processo de usinagem das misturas asfálticas tipo SMA.

Este trabalho tem como objetivo avaliar a viabilidade da incorporação de fibras de coco, devido à abundância deste material na região Nordeste, em misturas do tipo SMA como alternativa à incorporação das fibras de celulose. Para isto as misturas asfálticas do tipo SMA confeccionadas foram submetidas a ensaios de resistência à tração, módulo de resiliência, fadiga, de escorrimento e resistência à tração retida por umidade induzida. Os valores encontrados foram comparados a outros obtidos para misturas SMA confeccionadas com fibra de celulose, apresentando a mesma granulometria, agregados e ligante asfáltico das misturas asfálticas confeccionadas com fibra de coco.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O SMA – Stone Matrix Asphalt (Matriz Pétreia Afáltica) foi concebido na Alemanha em 1968, quando foi aplicada uma capa de rolamento de apenas 2 cm de espessura, composta por 75% de agregados de 5 – 8 mm, 15% de material de 0 – 2 mm, 10% de filer mineral e 7% de ligante betuminoso sob o peso total da mistura. Para evitar o escorrimento, sobretudo do ligante asfáltico, uma vez que a mistura era aplicada em torno de 180°C, foram empregadas fibras orgânicas como aditivo estabilizador.

A mistura asfáltica SMA foi desenvolvida com o objetivo principal de reduzir o desgaste superficial, principalmente pelo polimento dos agregados minerais causados pelo atrito pneu/revestimento, e também as deformações permanentes nos pavimentos asfálticos. O polimento dos agregados tem grande relação com a condição de desgaste superficial (ação abrasiva do tráfego) e com a qualidade dos agregados (Mourão, 2003).

Em 1984, foi publicada uma norma alemã para a nova mistura asfáltica SMA (Horst, 2000). A partir desta data, o SMA passou a ser utilizado amplamente na Europa. Em 1990, o SMA foi introduzido no Canadá e em 1991 nos Estados Unidos. Atualmente diversos outros países também utilizam o SMA, podendo-se citar, Japão, Polônia, Áustria, etc. No Brasil, pioneiramente foi construída a pista do autódromo de Interlagos em fevereiro de 2000, empregando-se o SMA (Beligni, 2000). Em agosto de 2001, foi construído um trecho experimental de SMA na Via Anchieta, rodovia que interliga São Paulo a Santos (Reis, 2002).

O SMA consiste basicamente de duas frações: agregado graúdo e um elevado teor de mástique, que é formado tipicamente por agregado miúdo, filer mineral, ligante asfáltico e fibras. O esqueleto mineral composto de agregado graúdo fornece à mistura um elevado

intertravamento entre os grãos, de forma que a mistura ganha em resistência (a proporção de agregados graúdos é superior à proporção dos mesmos nas misturas densas e contínuas), enquanto o elevado teor de mástique fornece à mistura uma maior durabilidade (Vasconcelos, 2004).

São adicionadas às misturas SMA fibras, que podem ser de origem orgânica, inorgânica ou material mineral, com o intuito de evitar o escorrimento do ligante durante o processo de construção (produção, transporte e aplicação da mistura). 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 aumentar a resistência ao desgaste do concreto asfáltico produzido (Neves *et al.*, 2004).

Algumas fibras já foram estudadas em misturas asfálticas, como a fibra de celulose, vidro e mineral, cada uma com uma variação de percentagem diferente, como pode ser observado na Tabela 1.

Tabela 1: Recomendações finlandesas para adição de fibras em misturas asfálticas tipo SMA em relação ao peso total da mistura ligante – agregado (Pank, 1995).

Tipo	Percentual de fibra na mistura (%)
Fibra de celulose	0,3-0,5
Fibra mineral	0,7-0,9
Fibra de vidro	0,4-0,6

Vale *et al.* (2006) realizaram estudos em misturas asfálticas tipo SMA utilizando a fibra de coco, seguindo o ensaio de escorrimento da AASHTO T 305/97 para determinar o percentual de fibra utilizada na mistura, que deve ser no máximo 0,3%. Nesta pesquisa o percentual de fibras de coco utilizado durante o ensaio de escorrimento variou entre 0,1 a 0,7% do peso da mistura.

Os resultados mostraram que para misturas do tipo SMA o percentual incorporado de fibras de coco variou entre 0,5 e 0,7%. A fibra de coco apresentou boa eficiência com relação ao escorrimento, sendo também, satisfatórios os resultados dos ensaios mecânicos (resistência à tração, módulo de resiliência e fadiga) (Vale *et al.* 2006).

3. MATERIAIS EMPREGADOS

Os materiais utilizados na presente pesquisa são descritos a seguir.

3.1 Agregados minerais e fíler

Para a dosagem e confecção das misturas asfálticas do tipo SMA foram utilizados agregados minerais de natureza granítica (brita $\frac{3}{4}$ " e pó-de-pedra) e como fíler mineral, cal hidratada. Os agregados foram obtidos na Pedreira de Itaitinga, localizada a aproximadamente 30 km da cidade de Fortaleza – Ceará, tendo sido convenientemente fracionados de modo a compor a curva granulométrica desejada para as misturas investigadas. A cal hidratada, utilizada como fíler artificial nas misturas, foi fornecida pela Carbomil S.A.

3.2 Ligante Asfáltico

O CAP utilizado nessa pesquisa foi fornecido pela Lubrificantes do Nordeste

(Lubnor/Petrobras) e é caracterizado por penetração como um CAP 50/70, de acordo com nova especificação brasileira. Este é proveniente do petróleo nacional Fazenda Alegre e atendeu a todas as especificações da Agência Nacional do Petróleo (ANP, 2005).

3.3 Fibras

As fibras utilizadas nessa pesquisa foram de coco e de celulose, esta última analisada como parâmetro de comparação devido aos diversos estudos já realizados anteriormente (Mourão, 2003; Vasconcelos, 2004).

A fibra de coco apresenta inúmeras vantagens na sua utilização, para além de ser um material ecológico e facilmente reciclável. Pertencente à família das fibras duras, tem como principais componentes a celulose e o lenho que lhe conferem elevados índices de rigidez e dureza, encontrando-se perfeitamente vocacionada para os mercados de isolamento térmico e acústico, face às suas características, que a tornam num material versátil, dada a sua resistência, durabilidade e resiliência (Murray, 2001).

As fibras de coco utilizadas na pesquisa foram cedidas pela Embrapa no estado do Ceará. Na pesquisa foi utilizada a fibra de coco com as características e propriedades apresentadas nas Tabelas 2, respectivamente.

Tabela 2: Características e propriedades da fibra de coco (Vale *et al.*, 2006).

Características do granulado	Resultados
Comprimento médio do granulado	10-20mm
Espessura média	0,1mm
Quantidade (percentual em peso)	0,5%-0,7%

As fibras de celulose utilizadas nesse trabalho foram cedidas pela empresa Ecofibras, localizada no estado de São Paulo. O produto cedido é comercialmente designado como VIATOP 66, que é um granulado composto por 66,6% em peso de ARBOCEL ZZ 8-1 (fibra) e por 33,3% de asfalto. As fibras VIATOP 66 têm forma granular cilíndrica. Outras características das mesmas foram fornecidas pela empresa e encontram-se resumidas na Tabela 3.

Tabela 3: Resultado de testes em amostra da fibra VIATOP 66.

Características da fibra de celulose	Resultado
Quantidade de ARBOCEL ZZ 8-1	63-67%
Comprimento médio do granulado	2-8mm
Espessura média	4 ± 1mm
Quantidade < 3,55mm	máx. 5%

3.3.1 Comportamento Termogravimétrico da fibra de coco

As técnicas termoanalíticas têm sido definidas como sendo métodos nos quais se mede a variação de uma determinada propriedade física de uma amostra em função do tempo ou da temperatura. Esta definição foi proposta por MACKENZIE (1979) e aceita pela Confederação Internacional de Análise Térmica (ICTA).

Como um caso particular das técnicas termoanalíticas, a Termogravimetria (TG), é a que

acompanha a propriedade física massa, da amostra em função do tempo (com a temperatura constante), ou em função da temperatura. O tipo mais comum de experimentos empregando essa técnica é a “Termogravimetria Dinâmica, em que se submete a amostra a uma variação constante de temperatura (controlada por um programador), em um forno, em quanto uma balança monitora sua massa”. O aparelho utilizado para a técnica é chamado “Termobalança” e para que se tenham resultados, é preciso que se originem produtos de decomposição térmica voláteis, ou que ocorra incorporação de átomos ou moléculas, provenientes dos gases da atmosfera do forno, respectivamente diminuindo ou aumentando a massa da amostra.

A técnica TG é essencialmente aplicável quando se deseja acompanhar variações de massa envolvidas num experimento, sendo seus resultados fundamentalmente de ordem quantitativa. O experimento termogravimétrico foi realizado em um módulo termogravimétrico Du Pont 951, acoplado a um termoanalisador Du Pont 9900 equipado com uma plotadora HP 7470A no Laboratório de Química da Universidade Federal do Ceará.

Neste experimento utilizou-se amostras com 7,0mg, taxa de aquecimento constante de $20^{\circ}\text{C}.\text{min}^{-1}$ e fluxo do gás de arraste de $100^{\circ}\text{ml}.\text{min}^{-1}$. Os gases utilizados foram N_2 (atmosfera inerte) e ar sintético. As curvas termogravimétricas para as fibras de coco em atmosfera inerte e ar sintético estão ilustradas na Figura 1, respectivamente.

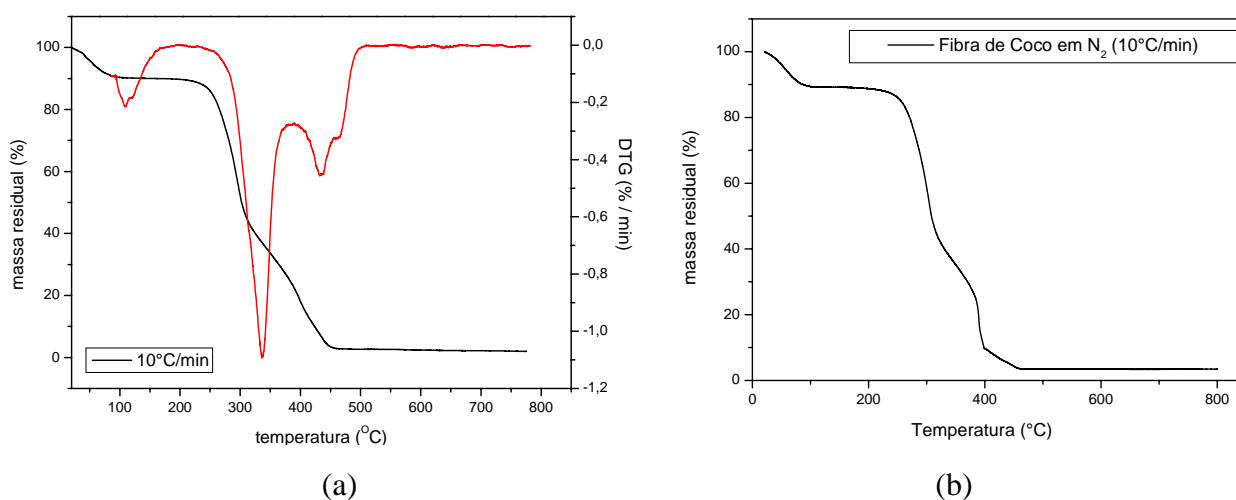


Figura 1: (a) Curva termogravimétrica da fibra de coco em ar. Taxa de aquecimento: $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$. Fluxo : $50\text{mL}/\text{min}$ e (b) Curva termogravimétrica da fibra de coco em N_2 . Taxa de aquecimento: $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$. Fluxo : $50\text{mL}/\text{min}$.

Para essa fibra, o primeiro processo de perda de massa aconteceu no intervalo entre 50 – 55%, apresentando uma maior faixa de desidratação (14 a 16% de perda de massa), indicativo da forte interação entre a água e os componentes das fibras de coco após a remoção da camada cuticular e de outras modificações químicas produzidas pelo tratamento.

4. MISTURAS ASFÁLTICAS DO TIPO SMA

4.1 Definição da curva granulométrica

A curva granulométrica adotada nesta pesquisa para a dosagem e confecção das misturas SMA foi aquela especificada pela norma AASHTO MP8-01, procurando atingir dentro da

faixa especificada uma composição granulométrica que fornecesse uma maior descontinuidade. Essa seria a situação mais desfavorável para o escoamento do ligante sem a aplicação de fibras, fornecendo então uma melhor percepção quanto ao efeito produzido pela adição das fibras de coco na mistura com relação ao escoamento produzido. A curva granulométrica adotada neste trabalho é apresentada na Figura 2.

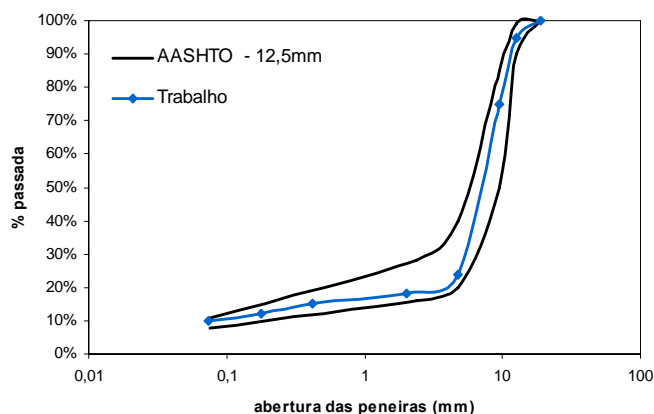


Figura 2. Curva granulométrica.

4.2 Procedimento de Confeção das Misturas e Dosagem

A dosagem de misturas asfálticas SMA segue alguns procedimentos peculiares em relação aos métodos de convencionalmente adotados para as misturas densas e contínuas. O projeto das misturas foi baseado na metodologia americana Superpave e no ensaio de escoamento, este último com objetivo de encontrar a percentagem de fibras adequada para a mistura a fim de evitar o gotejamento.

A norma AASSHTO PP41-01 da American Association of State Highway and Transportation Officials apresenta os passos necessários para a dosagem das misturas do tipo SMA, que podem ser resumidos como segue:

- Seleção dos materiais;
- Seleção da graduação ótima;
- Determinação do teor de projeto de ligante asfáltico;
- Avaliação da mistura quanto à susceptibilidade à umidade;
- Avaliação da mistura quanto à sensibilidade à segregação.

No preparo da mistura, primeiramente foram aquecidos separadamente o CAP à 165°C, os agregados e a fibra de coco à 175°C. Após todos os materiais atingirem a temperatura, foi incorporada aos agregados fibra de coco (0,5% do total da mistura), para então ser feita a mistura destes materiais com o ligante asfáltico. Este procedimento simula a degradação térmica das fibras de coco, que porventura possa ocorrer durante o processo de usinagem das misturas. As principais dificuldades observadas foram relativas à diminuição da trabalhabilidade das misturas asfálticas com a incorporação da fibra de coco, devido à tendência de formação de gomos.

Para este trabalho, utilizou-se o compactador giratório existente no LMP/UFC, um Troxler modelo 4140. Adotou-se 100 giros para as misturas com fibra de celulose e sem fibra e foram necessários 160 giros para confecção das misturas com fibra de coco para atingir 4% de

vazios. A percentagem de vazios considerados para as misturas foi de 4% e o teor ótimo de CAP 50/70 encontrado para confecção dos corpos de prova para as misturas asfálticas sem fibra, com fibra de celulose e fibra de coco foram 5,9%, 6,0% e 6,3%, respectivamente.

4.3 Determinação das Características de Escorrimento de Misturas Asfálticas Não Compactadas

É possível estabelecer a quantidade de material escorrido (gotejado) de uma amostra de mistura asfáltica quente não compactada, no estado solto, quando a mesma é mantida a temperaturas elevadas. Segundo AASHTO T 305/97, o escorrimento ou gotejamento da mistura é aquela porção de material que se separa da amostra como um todo e é depositada fora da cesta de arame durante o ensaio, sendo este material drenado CAP ou uma combinação de CAP, aditivos e/ou agregado miúdo (Vale *et al.*, 2006).

O ensaio se resume em colocar certa quantidade de amostra de mistura asfáltica ($1200\text{g} \pm 200\text{g}$) em uma cesta de arame posicionada sobre um prato. O conjunto (amostra, cesta e prato) é colocado em estufa por 60 ± 5 minutos. Ao fim deste tempo, o conjunto é removido da estufa, sendo sua massa em seguida determinada. Se a temperatura da mistura baixar mais de 25°C da temperatura de ensaio, o tempo de permanência na estufa aumenta para 70 ± 5 minutos (Mourão, 2003).

Foi realizado ensaio de escorrimento para misturas SMA sem fibra e com variações de percentagens entre 0,5 e 0,7% de fibra de coco, faixa recomendada por Vale *et al.* (2006). Para cada percentagem de fibra, o ensaio foi realizado na temperatura de 165°C , temperatura de mistura do ligante, e em 180°C , temperatura do ligante mais 15°C .

Os resultados dos ensaios realizados nas misturas sem fibra e com fibra de coco com possível degradação térmica são apresentados nas Figuras 3 à 6 e na Tabela 4.



(a) 165°C



(b) 180°C

Figura 3. Escorrimento sem fibra.



(a) 165°C



(b) 180°C

Figura 4. Escorrimento com 0,3% fibra de celulose.



(a) 165 °C



(b) 180 °C

Figura 5. Escorrimento com 0,5% de fibra de coco.



(a) 165 °C



(b) 180 °C

Figura 6. Escorrimento com 0,7% de fibra de coco.

Tabela 4: Resultado do ensaio de escorrimento da fibra de coco a 175° C.

Fibra	Teor (%)	Escorrimento (%)	
		T = 165° C	T = 180° C
Sem	0,0	1,06	0,70
Coco	0,5	0,08	0,25
	0,7	0,04	0,09
Celulose	0,3	0,01	0,03

Os resultados apresentados na Tabela 4 mostram que o uso de fibras é essencial em misturas do tipo SMA com CAP 50/70 objetivando evitar o escorrimento, que deve ser no máximo 0,3%. Os resultados mostram que esta exigência é atendida com a incorporação de fibras de coco no percentual de 0,5% na temperatura de 175°C.

4.4 Apresentação e Análises dos Resultados dos Ensaio Mecânicos

Para a determinação das propriedades mecânicas das misturas asfálticas estudadas foram realizados os seguintes ensaios: resistência à tração por compressão diametral, módulo de resiliência e vida de fadiga.

4.4.1 Resistência à Tração por Compressão Diametral e Módulo de Resiliência

O ensaio de resistência à tração por compressão diametral (RT) é um ensaio de ruptura, onde o corpo-de-prova é posicionado horizontalmente e a carga é aplicada diametralmente a uma velocidade de $0,8 \pm 0,1$ mm/s. Os ensaios foram conduzidos a 25°C e realizados segundo a norma DNER-ME 138/94.

Na análise tensão-deformação das estruturas dos pavimentos, o parâmetro de deformabilidade normalmente empregado para caracterizar as misturas asfálticas é o módulo de resiliência (MR) (Medina e Motta, 2005). O ensaio para determinação deste parâmetro vem sendo realizado no Brasil em equipamentos pneumáticos com controle do tempo e frequência de aplicação da carga, sistema de aplicação da carga, sistema de medição do deslocamento diametral horizontal do corpo-de-prova quando submetido à carga e sistema de controle de

temperatura. Os ensaios da presente pesquisa foram realizados segundo a norma DNER-ME 133/94. O MR foi determinado em corpos-de-prova moldados em laboratório (diâmetro de $10 \pm 0,02\text{cm}$ e altura de $6,35 \pm 0,20\text{cm}$) a 25°C , e o resultado foi obtido por meio da leitura da deformação instantânea. Os resultados obtidos para os ensaios descritos acima são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5: Resultados dos ensaios de resistência à tração estática e módulo de resiliência à 25°C .

Mistura	Resistência à tração (MPa)	Módulo de Resiliência (MPa)	Relação MR/RT
SMA CAP 50/70 sem fibra	0,91	3121	3429
SMA CAP 50/70 fibra de coco	0,98	3377	3854
SMA CAP 50/70 fibra de celulose	0,95	3486	3669

O valor de aproximadamente 3.000 para a razão MR/RT é obtido para diversas misturas tipo CBUQ produzidas com o ligante da refinaria Lubnor/Petrobras. Alguns pesquisadores acreditam que quanto menor o valor dessa razão, maior será a vida de fadiga obtida para esse mesmo tipo de mistura asfáltica. Para as três misturas SMA estudados, a razão MR/RT variou de 3.400 a 3.900 e não houve a correlação dos valores inferiores com uma maior vida de fadiga, conforme será abordado no item a seguir.

4.4.2 Resistência à Tração Retida por Umidade Induzida

A avaliação do dano causado pela umidade é de grande importância, pois afeta diretamente o desempenho e a vida de serviço dos pavimentos. Os testes para identificação do potencial ao dano por umidade em misturas asfálticas podem ser classificados em duas categorias: aqueles realizados em misturas não compactadas e os realizados em misturas compactadas (Solaimanian *et al.*, 2004). Existe, porém, a dificuldade de associar os resultados de testes obtidos em laboratório com o desempenho das misturas em campo (Epps *et al.*, 2000).

O procedimento de ensaio pode ser resumido através dos passos descritos a seguir:

- moldar seis CP's com vazios entre 6 e 8% no teor de projeto de ligante;
- separar três desses CP's para aplicação de uma pressão de 254 – 660mm Hg, a fim de obter saturação entre 55 e 80%;
- colocar os três CP's para congelamento (-18°C) por um período mínimo de 16h. Os CP's devem ser cobertos por um filme plástico, colocados dentro de um saco vedado com 10ml de água;
- imergir os CP's em um banho a 60°C por um período de $24 \pm 1\text{h}$, após a retirada do filme e do saco plástico;
- retirar os três CP's do banho de 60°C e imergi-los em um banho a 25°C por um período de $2 \pm 1\text{h}$;
- realizar ensaio de resistência à tração nos três CP's após todo o ciclo de condicionamento (RTu). Os outros três CP's devem ser submetidos ao ensaio de resistência à tração sem o ciclo de condicionamento (RT);
- calcular a resistência à tração retida por umidade induzida, que e a razão entre RTu e RT.

Para as misturas dosadas pela metodologia Superpave, procedeu-se de forma diferente para a

obtenção do número de giros necessários para obtenção de vazios entre 6 e 8%. No procedimento de compactação Superpave tem-se o acompanhamento das alturas do CP durante todo o processo. Dessa forma, é possível obter-se uma estimativa dos volumes de vazios para os diferentes números de giros. Os parâmetros volumétricos adotados como referência foram determinados a partir dos CPs moldados no teor de projeto para realização dos demais ensaios mecânicos.

A Tabela 6 apresenta os resultados obtidos para a resistência a tração por compressão diametral após o condicionamento (saturação, congelamento e aquecimento em água), a resistência a tração por compressão diametral sem condicionamento e a resistência a tração retida por umidade induzida (RRT) para as misturas analisadas.

Tabela 6: Resultados de RT, RTu e RRT para as misturas analisadas.

		Misturas SMA		
		Sem fibra	Com fibra de celulose	Com fibra de coco
Superpave	RT(MPa)	0,91	0,95	0,98
	RT _u (MPa)	0,51	0,94	0,85
	RRT	56%	100%	87%

Observa-se da Tabela 6 que a adição de fibras na mistura aumenta o valor de RRT. As misturas SMA com fibra de celulose e fibra de coco, ambas, dosadas pela metodologia Superpave apresentaram valores de RRT superiores a 70%.

Para as misturas SMA, o limite para RRT é de 70% segundo a especificação AASHTO MP8-01. As misturas SMA com fibra de celulose e fibra de coco apresentaram valores superiores ao limite imposto pela norma. Um outro fator importante a ser levado em consideração é o fato das misturas SMA terem em sua composição a cal hidratada, que é um melhorador de adesividade.

4.4.3 Vida de Fadiga

A fadiga é um processo de deterioração estrutural que sofre um material quando submetido a um estado de tensões e deformações repetidas, que podem ser muito menores que a resistência última do material, resultando em trincas, após um número suficiente de repetições do carregamento (Pinto e Motta, 1995).

No ensaio de vida de fadiga, os corpos-de-prova são submetidos à compressão diametral, a temperatura de 25°C. Nesta pesquisa, de acordo com o valor encontrado no ensaio de resistência à tração, ensaiaram-se os corpos-de-prova em diferentes níveis de tensão, correspondentes a 30, 40 e 50% da RT. A Figura 8 apresenta as curvas de fadiga da mistura SMA sem fibra, com fibra de coco e com fibra de celulose seguindo metodologia Superpave.

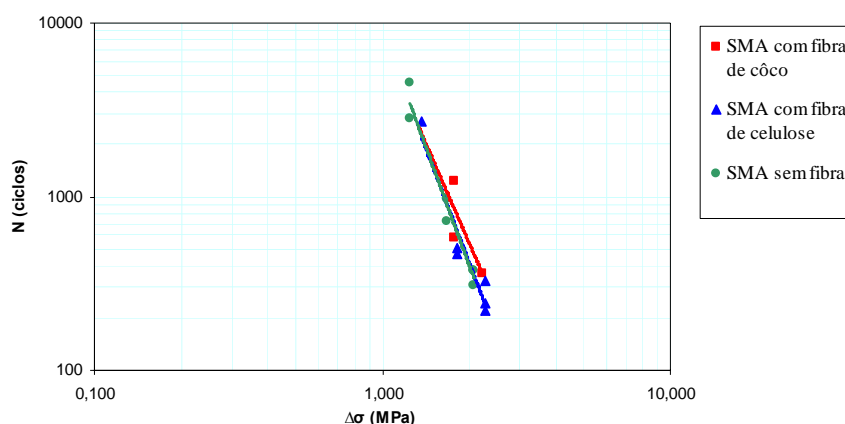


Figura 8. Vida de fadiga para as misturas asfálticas SMA estudadas seguindo metodologia Superpave.

Analisando o gráfico de fadiga observa-se que as misturas SMA, seguindo metodologia Superpave, apresentaram vida de fadiga equivalentes. A comparação entre as vidas de fadiga para este ensaio é limitada porque o desempenho das misturas em campo está associado às tensões na estrutura do sistema de camadas.

5. CONCLUSÕES

Para se fazer uma comparação com os valores de RT, MR e vida de fadiga escolheu-se trabalhar também com misturas do tipo SMA com fibra de celulose utilizando as mesmas características da mistura SMA com fibra de coco. A mistura que utiliza fibra de celulose serviu como referência para a análise da mistura com fibra de coco, pois já existem diversos estudos que comprovaram a eficiência da fibra de celulose em misturas asfálticas.

Conclui-se que a fibra de coco apresentou boa eficiência com relação ao escorrimento, porém apresentou dificuldades durante a confecção dos corpos-de-prova, devido ao seu tamanho inicial de 30mm. Sendo assim, a fibra de coco deve ter um tamanho máximo de 10 mm, pois esta tende a formar gomos no momento da mistura, dificultando a trabalhabilidade na execução.

Essa análise da viabilidade do uso da fibra local é importante para a região Nordeste, devido à valorização do material regional e também por ser economicamente viável quando comparado à fibra de celulose, devido a sua abundância na região.

A resistência à tração das misturas SMA dosadas pela metodologia Superpave apresentaram valores satisfatórios.

As misturas SMA com fibra de celulose e fibra de coco, ambas, dosadas pela metodologia Superpave apresentaram valores de RRT superiores a 70%, que segundo Moura (2001) deve ser o limite para que a amostra seja aprovada.

Os resultados da vida de fadiga das misturas SMA sem fibra, com fibra de coco e fibra de celulose apresentaram-se equivalentes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASHTO T-305 (1997) American Association of State Highway and Transportation Officials T-305 – Determination of Draindown Characteristics in Uncompacted Asphalt Mixtures.
- AASHTO PP-41 (2001) American Association of State Highway and Transportation Official PP-41 – Standard Practice for Designing Stone Matrix Asphalt (SMA).
- AASHTO MP-8 (2001) American Association of State Highway and Transportation Official MP-8 – Standard Specification for Designing Stone Matrix Asphalt (SMA).
- ANP (2005) Resolução ANP Nº 19, de 11.7.2005 DOU 12.7.2005. Regulamento técnico Nº 3/2005. Agência Nacional do Petróleo.
- Beligni, M.; D. F. Villibor e J. R. Cincerre (2000) Misturas Asfálticas do Tipo SMA (Stone Matic Asphalt): Solução para Revestimentos de Pavimentos de Rodovias e Vias Urbanas de Tráfego Intenso. In: Anais da Reunião Anual de Pavimentação - 32º RAPV. Brasil: v. 01 pp. 590-605
- DNER-ME 133/94 (1994) Misturas Betuminosas – Determinação do Módulo de Resiliência, Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – Método de Ensaio, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- DNER-ME 138/94 (1994) Misturas Betuminosas – Determinação da Resistência à Tração por Compressão Diametral, Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – Método de Ensaio, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- Epps, J.A.; Sebaaly, P.E.; Penaranda, J.; Maher, M.R.; McCann, M.B.; Hand, A.J. (2000) Compatibility of a Test for Moisture-Induced Damage with Superpave Volumetric Mix Design. NCHRP Report 444. Transportation Research Board, National Research Council, Washington, DC.
- Francken, L. e A. Vanelstraete (1995) SMA en Belgique: um revêtement pour l'avenir. XIIe Journée du Bitume. Bélgica.
- Horst E (2002) Stone Mastic Asphalt – Pavement Technology. In: Anais do 15º Encontro de Asfalto, artigo IBP620_00. Rio de Janeiro, Brasil.
- Mackenzie, R. C.; Termochim. ACTA, (1979), 28.
- Motta, L. M. G.; L. F. M. Leite; L. B. Bernucci e J. A. P. Ceratti (2004) Síntese de Estudos Sobre Misturas Asfálticas Tipo SMA. In: Anais do 17º Encontro de Asfalto, artigo IBP901_04. Rio de Janeiro, Brasil.
- Medina, J.; Motta, L. M. G. (2005). Mecânica dos Pavimentos. 2ed. Rio de Janeiro. Editora UFRJ, 2005. 574P.
- Moura, E. (2001) Estudo do Efeito de Aditivos Químicos e da Cal como Melhoradores de Adesividade em Misturas Asfálticas Densas. Tese de M.Sc., POLI/USP, São Paulo, SP.
- Mourão, F. A. L. (2003) Misturas Asfálticas de Alto Desempenho Tipo SMA. Dissertação de Mestrado, UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- Murray, N. P. Caracterización y evaluación agronómica del residuo de fibras de coco: un Nuevo material para el cultivo en sustrato. Tesis del Doctorales. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia, 2001.
- Neves Filho, C. L. D.; L. L. B. Bernucci e J. L. Fernandes Jr (2004) Avaliação de misturas asfálticas SMA produzidas com ligante Avaliação de misturas asfálticas SMA produzidas com ligante asfalto-borracha quanto ao módulo de resiliência, a resistência à tração e fadiga. In: 17º. Encontro de Asfalto, Rio de Janeiro. 17º. Encontro de Asfalto. v. 1. p. 128-136.
- Pank, H. (1995) Finnish Asphalt Specifications. Finnish Pavement Technology Advisory Council.
- Pinto, S. e L. M. G. Motta (1995) Catálogo de Curvas de Fadiga. Boletim Técnico Nº16, Associação Brasileira de Pavimentação – ABPv. Rio de Janeiro, Brasil
- Reis, R. M. M.; L. L. B. Bernucci e A. L. Zanon (2001) Capítulo 9 Revestimento Asfáltico tipo SMA para Alto desempenho em Vias de Tráfego pesado. In: Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes; Confederação Nacional do transporte. (Org.). Transporte em transformação VI. 1 ed. Brasília, v. 6, p. 163-176.
- Reis, R. M. I. M (2002) Revestimento Asfáltico Tipo SMA para Alto Desempenho em Vias de Tráfego Pesado. Tese de M. Sc., EPUSP-USP, Brasil.
- Solamian; M.; Harvey, J.; Tahmoressi, M.; Tandon, V. (2004) Test Method to Predict Moisture Sensitivity of Hot-Mix Asphalt Pavements. Topic 3. http://trb.org/publications/conf/reports/moisture/03_TOP3.pdf, em 28/11/2004.
- Vale, A. C.; I. C. Pinto; J.B. Soares e S. A. Dantas Neto (2006) Estudo Laboratorial da Viabilidade do Uso de Fibras de Coco em Misturas Asfálticas do Tipo SMA. In: Anais do 18º Encontro de Asfalto, artigo IBP0049_06. Rio de Janeiro, Brasil.
- Vasconcelos, K. L. (2004) Comportamento Mecânico de Misturas Asfálticas à Quente Dosadas pelas Metodologias Marshall e Superpave com Diferentes Granulometrias. Dissertação de Mestrado, Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 149 fl.