

## **AVALIAÇÃO DE MISTURAS ASFÁLTICAS MELHORADAS COM FIBRA DE COCO**

**Yana de Medeiros Silva**  
**Lêda Christiane Figueiredo Lopes Lucena**  
**Ablenya Grangeiro de Barros**  
**Daniel Beserra Costa**  
**Paulo Germano Tavares Marinho Filho**

Universidade Federal de Campina Grande  
Laboratório de Engenharia de Pavimentos

### **RESUMO**

O Brasil é, atualmente, o quarto maior produtor de coco do mundo, sendo a região Nordeste responsável pela maior parcela desta produção. 80 a 85% do peso bruto do coco verde é considerado como resíduo. Entretanto, não existe uma alternativa satisfatória para a disposição final da casca do coco. A incorporação das fibras do coco em misturas asfálticas pode vir a mitigar a problemática referente ao descarte inadequado destes resíduos além de agregar melhoria na resistência das misturas asfálticas e na estabilidade do ligante asfáltico. Esta pesquisa tem por objetivo estudar a adição da fibra de coco em misturas asfálticas do tipo Stone Matrix Asphalt (SMA). Foram testados os teores de 0,3% e 0,5% em peso para três comprimentos de fibra: 10, 15 e 20 mm. Realizou-se os ensaios de escorrimento do ligante, resistência à tração por compressão diametral, estabilidade Marshall, módulo de resiliência, Lottman modificado e módulo dinâmico. O resultado do ensaio de escorrimento indicou que, dentre os teores e comprimentos de fibra testados, apenas a adição de fibras de 15 mm em um teor de 0,5% foi capaz de reduzir o escorrimento a valores aceitáveis. Em relação aos ensaios mecânicos, o único que apresentou valores melhorados com adição de fibras foi o ensaio de Estabilidade Marshall. No que se refere aos demais ensaios, foi constatado modificações pouco significativas às propriedades mecânicas da mistura SMA, entretanto, não indicaram resultados que inviabilizasse a sua utilização.

### **ABSTRACT**

Brazil is currently the fourth largest producer of coconut in the world, with the Northeast region accounting for the largest share of this production. 80 to 85% of the coconut total weight is considered as a residue. However, there is no satisfactory alternative to the final disposal of the coconut shell. The incorporation of coconut fibers into asphalt mixtures can mitigate the issue of the inadequate disposal of these residues besides improving the resistance of the asphalt mixtures and the stability of the asphalt binder. This research aims to study the addition of coconut fiber in Stone Matrix Asphalt (SMA) mixtures. The contents of 0.3% and 0.5% wt were tested for three fiber lengths: 10, 15, and 20 mm. The tests performed were draindown of the binder, indirect tensile strength, Marshall stability, resilient modulus, modified Lottman, and dynamic modulus. The draindown test result indicated that, among the contents and fibers lengths tested, only the addition 15 mm fibers at 0.5% was capable to reduce the draindown to acceptable values. Regarding the mechanical tests, only the Marshall Stability results were improved by the fibers addition. The other tests, on the other hand, did not present significant changes in the mechanical properties of the SMA with the fibers addition. However, these results do not invalidate the use of the coconut fibers in the mixture studied.

### **1. INTRODUÇÃO**

A diminuição da vida útil dos projetos de engenharia rodoviária constitui um dos problemas enfrentados na pavimentação, devido a fatores como o crescimento da quantidade de veículos e aumento do peso e do número de eixos dos veículos comerciais. Então, a busca por alternativas que melhorem o desempenho dos pavimentos tornou-se o principal objetivo de muitos pesquisadores dessa área nos últimos anos.

O uso de “tecnologias verdes” e processos produtivos sustentáveis têm sido aderidos pelos setores industriais e da construção. Este fato faz com que subprodutos, ou rejeitos, se tornem novamente matéria-prima. O pavimento, devido à sua extensão e a grandes volumes de material mobilizado constitui uma alternativa à reutilização de resíduos (Cordeiro, 2007).

A utilização de misturas asfálticas mais resistentes e duráveis vem crescendo nos países em desenvolvimento, podendo-se citar as misturas de graduação descontínua, como por exemplo, as misturas do tipo SMA (Reis et al., 2000). As misturas SMA são dosadas de forma a possuir uma alta fração graúda (usualmente entre 70-80%), alto teor de ligante asfáltico (tipicamente acima de 6%) e alto teor de filer (em torno de 10% em peso do total da mistura asfáltica). Esta composição permite grande contato entre os grãos do esqueleto pétreo que resulta em uma mistura com alta resistência à deformação permanente e maior durabilidade (NAPA, 2009).

De acordo com a norma AASHTO MP 8-02/01, o escorrimento do ligante asfáltico não pode exceder 0.3% em relação ao peso total da mistura. Devido alto teor de ligante asfáltico empregado nas misturas SMA, é comumente necessário usar aditivos estabilizantes para atender a este critério de escorrimento. Para este fim, a adição de fibras tem mostrado uma alternativa interessante à indústria da pavimentação.

As fibras utilizadas podem ser sintéticas, como as fibras de poliéster (CHENG *et al.*, 2009) e fibras de vidro (MAHREZ e KARIM, 2010). No entanto, o uso de fibras advindas de resíduos da agroindústria tem também sido avaliado como estabilizantes em diversos estudos, como as fibras de juta (KUMAR *et al.*, 2004), celulose e sisal (ODA, FERNANDES JR. e ILDEFONSO, 2012), lignina (SHENG *et al.*, 2017) e do bagaço da cana de açúcar (LEAL e CASTRO, 2013). O uso destes resíduos reduz a necessidade da produção de novos materiais e promove uma alternativa à reciclagem.

O Brasil é responsável por 80% do cultivo de coco na América do Sul (Martins & Jesus Jr., 2011). Segundo Rosa e Ribeiro (2001) 80-85% do peso bruto do coco verde é considerado como resíduo. Segundo a Associação dos Produtores de Coco (ASBRACOCO, 2006) e a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2006), a produção de casca de coco verde no Brasil gira em torno de 6,7 milhões de toneladas por ano, tornando-se um grave problema ambiental, principalmente para as grandes cidades.

Os problemas relacionados ao seu descarte do resíduo do coco despertaram o interesse acerca da utilização da fibra de coco em misturas SMA em materiais da construção civil. Pesquisas como a de Vale, Casagrande e Soares (2013), Vale (2007) e Oda, Fernandes Jr., e Ildefonso (2012) conformaram a viabilidade de fibras de coco como estabilizantes em misturas SMA.

Dentro deste contexto, esta pesquisa consiste no estudo sobre o efeito da incorporação de fibras de coco em misturas asfálticas do tipo SMA.

## 2. MÉTODOS

### 2.1 Materiais

O CAP (Cimento Asfáltico de Petróleo) utilizado é de origem da Empresa de Lubrificantes e Derivados de Petróleo do Nordeste – LUBNOR, uma refinaria de petróleo da Petrobrás, situada no estado do Ceará.

Os agregados graúdos utilizados foram a brita granítica com tamanho nominal máximo de 19,00 mm e 9,5 mm. O agregado miúdo utilizado foi o pó de pedra, também de natureza granítica. A

cal foi utilizada como material de enchimento (fíler).

As fibras de coco utilizadas foram cedidas pela Embrapa (Figura 1), com comprimentos de 10, 15 e 20mm e espessura média de 0,1mm, conforme a especificação do fabricante.

**Figura 1:** Fibras de coco



## 2.2 Métodos

### 2.1.1 Caracterização do ligante

Para a caracterização do ligante, foram realizados os ensaios apresentados na Tabela 1. Os respectivos resultados, apresentados na mesma tabela, demonstram para as propriedades analisadas o ligante utilizado apresentou resultados satisfatórios de acordo com as especificações vigentes.

**Tabela 1:** Resultados da caracterização do ligante asfáltico

Propriedades	Norma	Especificações	Antes RTFOT	Após RTFOT	
Penetração (100g, 5s, 25°C), 0,1 mm	ABNT NBR 6576	50 - 70	64,71	37,60	
Ponto de Amolecimento (°C)	ABNT NBR 6576	≥ 46	47,0	50,25	
Viscosidade Brookfield (cP)	ABNT NBR 15184	135°C a 20 rpm	≥ 274	366,25	497,50
		150°C a 50 rpm	≥ 112	182,50	238,00
		177°C a 100 rpm	57 - 585	67,25	84,00
Variação de massa (%)		≤ 0,5		0,0704	
Variação no ponto de amolecimento (°C)		≤ 8		3,25	
Variação da penetração retida (%)		≥ 55		58	

### 2.1.2 Caracterização dos agregados

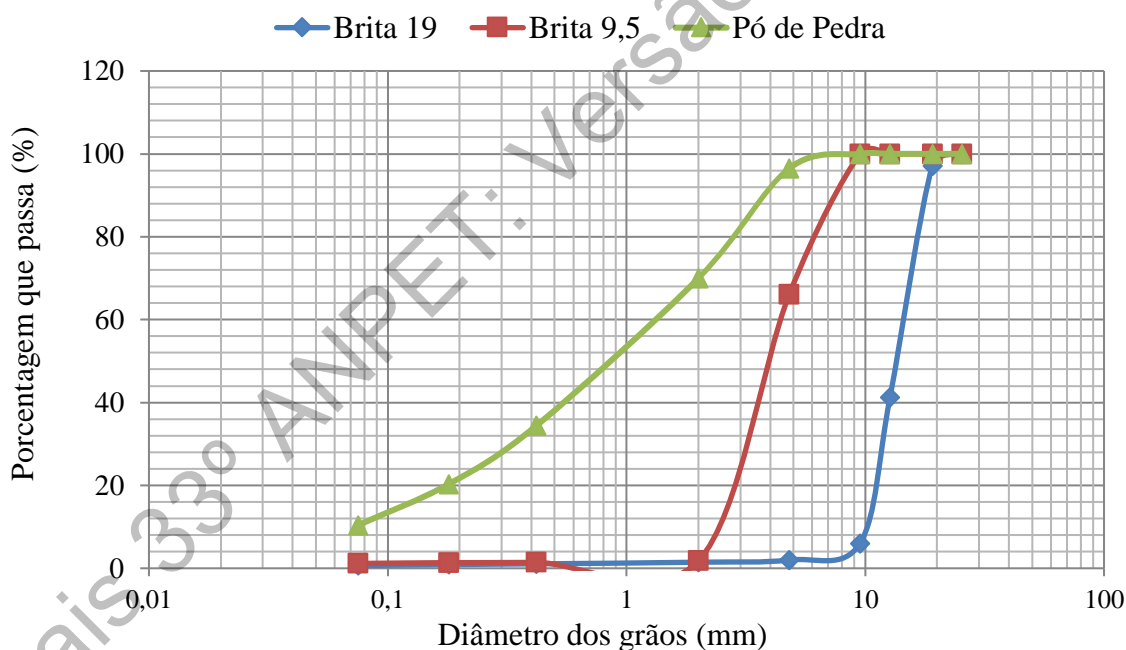
Os ensaios realizados para medir as propriedades dos agregados e respectivos resultados estão apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2:** Resultados da caracterização dos agregados

Ensaio	Norma	Especificação	Agregados		
			Pó de pedra	Brita 19,0mm	Brita 9,5mm
Massa específica real (g/cm <sup>3</sup> )	DNIT ME 194/98		2,39	2,80	2,61
Massa específica aparente (g/cm <sup>3</sup> )	DNIT ME 195/97		2,38	2,75	2,55
Absorção (%)	DNIT ME 081/98	≤2	0,22	0,61	0,85
Abrasão “Los Angeles” (%)	DNIT ME 035/98	≤30	-	26,05	
Equivalente de areia (%)	DNIT ME 054/97	≥55	62,80	-	-

De acordo com os resultados obtidos foi possível constatar que os agregados utilizados apresentam características satisfatórias, condizentes com os limites estabelecidos por norma.

A Figura 2 apresenta as curvas granulométricas dos agregados graúdos e miúdos utilizados. As britas 12,5mm e 9,5mm apresentaram graduação uniforme enquanto a o pó de pedra apresentou graduação densa.



**Figura 2:** Curvas granulométricas da brita 19,0mm, 9,5mm e do pó de pedra

### 2.1.3 Dosagem SUPERPAVE

O projeto das misturas foi baseado na metodologia SUPERPAVE, a qual utiliza de pontos de controle, zonas de restrição e critérios de seleção de agregados para a dosagem.

Com a distribuição granulométrica dos agregados foram feitas as tentativas quanto às proporções dos agregados a serem utilizados na mistura. Foram construídas três curvas com o teor inicial de 6% de ligante e sem fibra: as curvas Fuller inferior, intermediária e superior.

Escolheu-se trabalhar com a curva inferior (Figura 3), pois apresentou parâmetros volumétricos mais próximos aos requeridos para misturas SMA.

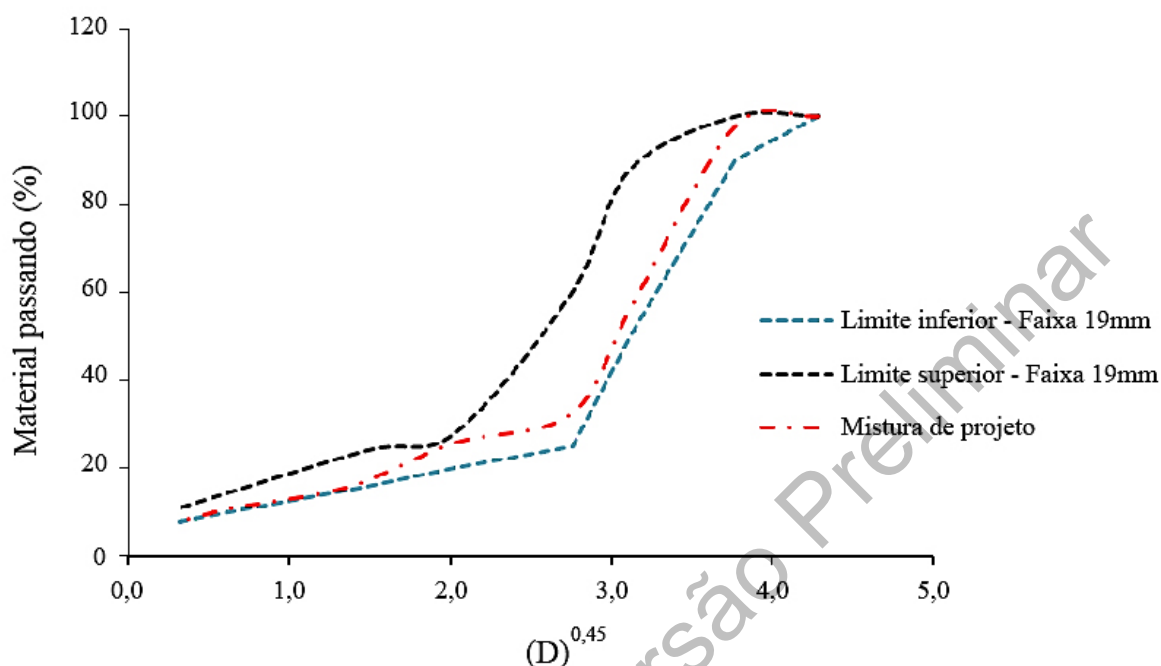


Figura 3: Curva de Fuller inferior

As proporções dos agregados referentes a essa curva, para a mistura estudada estão presentes na Tabela 3.

Tabela 3: Proporção dos agregados após ajuste de dosagem

Brita 19mm	Brita 9,5mm	Pó de pedra	Fíler	Ligante
67,35%	9,38%	11,26%	5,82%	6,2%

#### 2.1.4 Ensaio de escorrimento

De acordo com a AASHTO T 305/97, o ensaio de escorrimento estabelece a quantidade de material escorrido (gotejado) de uma amostra de mistura asfáltica a quente não compactada, no estado solto, quando a mesma é mantida a temperaturas elevadas. Para a mistura SMA, o valor do escorrimento não pode ser superior a 0,3%.

#### 2.1.5 Propriedades mecânicas das misturas

Para obtenção das propriedades mecânicas das misturas foram realizados os seguintes ensaios:

- Estabilidade Marshall (DNIT – ME 043/95) que mede, de forma indireta, a resistência ao cisalhamento, o intertravamento e o atrito proporcionados pela fricção interna dos seus materiais e a coesão entre as partículas da mistura asfáltica;
- Resistência à Tração por Compressão Diametral (RT) (DNIT 136/2010 – ME), que determina a tensão máxima suportada pela mistura asfáltica até sua ruptura;
- Módulo de resiliência (ABNT 16018/2011 e ASTM D 4123-82) que mede as deformações reversíveis provocadas por condições cíclicas de carregamento e descarregamento nos corpos de prova;

- Lottman modificado (AASHTO T 283), usado para avaliar o dano por umidade em misturas asfálticas a partir da verificação do potencial de deslocamento de sua película de asfalto sob a ação da água em ciclos de gelo e degelo;
- Módulo Dinâmico (ASTM D 3497) que visa avaliar o comportamento viscoelástico das misturas asfálticas. Este ensaio foi realizado em três temperaturas e seis frequências de carregamento diferentes. A partir destes valores, elaborou-se as curvas mestra de log dos valores do módulo versus o log da frequência do carregamento para cada grupo de misturas asfálticas e estas foram sobrepostas em um único gráfico, como apresentado.
- Flow Number (AASHTO TP 79) que indica informações acerca da deformação permanente das misturas asfálticas.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 Escorrimento

A Tabela 4 apresenta os resultados encontrados a partir do ensaio de escorrimento realizado nas temperaturas de 150°C e 165°C, para a mistura sem fibra e com fibra, nos teores de 0,3% e 0,5% em peso e comprimentos de 10, 15 e 20 mm.

**Tabela 4:** Escorrimento para 0%; 0,3% e 0,5% de fibra

Mistura	Temperatura	
	150 °C	165 °C
Sem fibra	1,58	2,13
10 mm 0,3%	0,99	1,98
10 mm 0,5%	0,99	1,41
15 mm 0,3%	0,48	0,83
15 mm 0,5%	0,27	0,29
20 mm 0,3%	0,92	1,26
20 mm 0,5%	0,51	0,67

A adição da fibra de coco, nos três comprimentos testados, reduziu consideravelmente o escorrimento do ligante, comparando-se ao teste sem fibra. Para misturas tipo SMA o escorrimento a ser considerado satisfatório precisa ser inferior a 0,3%, sendo desejável que seja menor ou igual a 0,2% (NAPA, 2002). Diante disto, o único comprimento que atende a essa especificação, corresponde a 15 mm, para o teor de 0,5% de fibras, logo, este foi adotado para dar continuidade ao estudo.

#### 3.2 Propriedades mecânicas das misturas

A Tabela 5 apresenta as médias dos resultados obtidos das propriedades mecânicas das misturas com 0,5% de fibras de 15mm e sem fibras.

**Tabela 5:** Propriedades mecânicas das misturas

	Estabilidade Marshall (kgf)	Resistência à tração (MPa)	Lottman modificado (%)	Módulo de resiliência (MPa)	
				ASTM	NBR
0%	887,90	0,559	95	2915	3889
0,5%	956,90	0,341	85	1519	1870

De acordo com a Tabela 5 pôde-se perceber que a adição da fibra de coco à mistura ocasiona um aumento da estabilidade, logo, uma melhora na resistência máxima à compressão radial apresentada pelo corpo de prova. Este comportamento pode ser atribuído ao fato de que as fibras retêm o ligante asfáltico, gerando maior coesão à mistura. O valor requerido para misturas SMA segundo Napa (2002) deve ser no mínimo 620 kgf. Portanto, pode-se concluir que a adição de fibra de coco tornou a mistura estudada viável para uso em revestimentos asfálticos quanto a este parâmetro.

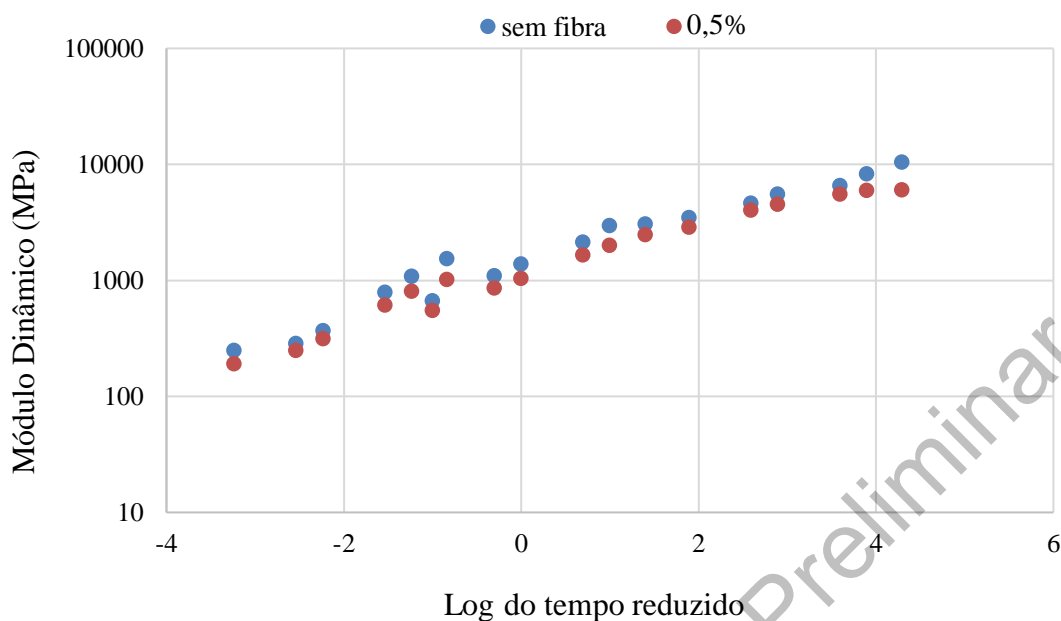
A adição da fibra resultou numa diminuição da resistência à tração por compressão diametral em cerca de 64%, comparando-se à mistura sem adição de fibra. A literatura apresenta diversas variações do RT em SMA. Segundo Bernucci (2008) estes valores são geralmente situados entre 0,8 MPa e 1,2 MPa. A Especificação Técnica para misturas SMA do Estado de São Paulo apresenta valor mínimo para RT de 0,6 MPa. Logo, ambos corpos de prova testados, sem e com fibra, não apresentaram resultados satisfatórios.

A partir dos resultados obtidos, pode-se constatar que os corpos de prova com fibra apresentaram uma resistência à tração retida inferior aos corpos de prova sem fibra, o que difere do comportamento verificado por Vale, Casagrande e Soares (2013). As especificações da AASHTO 8 – 01 determinam um valor mínimo de 70% de resistência à tração retida para misturas SMA. Logo, ambas misturas apresentaram valores satisfatórios, atendendo os limites especificados pela norma.

Quanto ao módulo de resiliência, tanto os resultados obtidos por meio da norma americana quanto os da norma brasileira indicam uma diminuição do módulo de resiliência após adição da fibra de coco a mistura, quando comparado à mistura sem fibra, portanto uma diminuição da rigidez da mistura. De acordo com Vale (2007), a maior rigidez apresentada pela mistura sem fibra pode ser relacionada ao alto escorrimento que ocorre durante a usinagem e compactação, reduzindo o filme de asfalto que recobre os agregados e tornando a mistura menos flexível. O autor encontrou resultados similares em sua pesquisa.

De acordo com Brown (1993) misturas SMA ensaiadas com adição de 0,5% de fibra mineral apresentaram valores para o Módulo de Resiliência entre 1.300 MPa e 5.200. Logo, todos os valores encontrados para MR, apesar da diminuição notada, estão dentro do intervalo apresentado.

A Figura 4 apresenta as curvas geradas pela relação Módulo Dinâmico x Log do tempo reduzido para cada mistura estudada.



**Figura 4:** Curvas Módulo Dinâmico x Log do tempo reduzido

O módulo dinâmico serve como parâmetro de rigidez. Quanto menor o valor do MD, mais susceptível será o revestimento a deformações plásticas devido à baixa rigidez. A partir da Figura 4 pode-se notar que para todas as frequências de carga e temperatura, o houve módulo dinâmico da mistura com 0,5% de fibra apresentou valores menores do que as misturas sem fibra.

#### 4. CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos nesta pesquisa foi possível constatar que a adição da fibra de coco à mistura asfáltica tipo SMA estudada apresenta modificações pouco significativas nas propriedades mecânicas da mistura asfáltica.

Em relação à trabalhabilidade da mistura foi possível verificar que a mesma é prejudicada com a adição da fibra, fato este que era esperado, tendo em vista que a fibra possui como principal objetivo a absorção do ligante e minimizar o efeito do escorrimento. Logo, a adesão do ligante com os demais materiais torna-se dificultada.

Foi constatado que, dentre os teores de adição e comprimento da fibra estudada, apenas 0,5% de fibras de 15mm foi capaz de reduzir o escorrimento do ligante para o valor especificado por norma.

Os resultados os ensaios mecânicos mostraram que a adição de 0,5% das fibras de coco não apresenta melhorias na maioria das propriedades mecânicas estudadas quando comparado à mistura sem fibra. Entretanto, no que se refere à Estabilidade Marshall foi possível obter resultados satisfatórios, onde a adição da fibra de coco à mistura ocasiona um aumento da estabilidade, logo, uma melhora na resistência máxima à compressão radial apresentada pelo corpo de prova.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASHTO MP 8-02 (2001). Stone Matrix Asphalt (SMA). American Association of State Highway and Transportation Officials, EUA.
- ASBRACOCO (2006) Associação de Produtores de Coco. Disponível em: <http://www.portaldoagronegocio.com.br>. Acessado em 20/12/06.
- Bernucci (2008). Efeito do Teor e do Tipo de Ligante na Formação de Trilhas de Roda em Misturas Asfálticas. *Anais do 19º Encontro de Asfalto*. Rio de Janeiro, 2008.
- Brown, E. R. (1993) Experience with Stone Matrix Asphalt in The United States. In: *NCAT Report 93-4, National Center for Asphalt Technology*, Auburn, EUA.
- Chen, H., Xu, Q., Chen, S., e Zhang, Z. (2009). Evaluation and design of fiber reinforced asphalt mixtures. *Materials and Design*, 30(7), 2595–2603.
- Cordeiro, J. F. S. (2007) *Estabilização química e Solidificação do resíduo oleoso gerado nas atividades de E & P de petróleo, com solo para o uso em camadas de bases e/ou sub-bases de pavimentos rodoviários*. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.
- EMBRAPA (2006) Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Coco Verde. Disponível em: <http://www.embrapa.br>. Acessado em 20/12/06.
- Kumar, P., Sikdar, P. K., Bose, S., e Chandra, S. (2004). Use of Jute Fiber in Stone Matrix Asphalt. *Road Materials and Pavement Design*, 5(2), 239–249.
- Leal, D. e Castro, F. (2013). Estudo do bagaço de cana de açúcar como aditivo em SMA. *Anais do congresso XIII Safety, Health and Environment World Congress*, Porto, Portugal, 42–46.
- Mahrez, A. e Karim, M. (2010). Fatigue characteristics of stone mastic asphalt mix reinforced with fiber glass. *International Journal of the Physical Sciences*, 5(12), 567 1840-1847.
- Martins, C., Jesus Jr., L. (2011) *Evolução da produção de coco no Brasil e o comércio internacional: panorama 2010*. Aracaju.
- NAPA (2002) Designing and Constructing SMA Mixtures – State of the Practice. Quality Improvement Series 122. National Asphalt Pavement Association, EUA.
- NAPA (2009) Hot Mix Asphalt Materials, Mixture, Design, and Construction. National Asphalt Pavement Association Research and Education Foundation, EUA.
- Oda, S., Fernandes Junior, L., e Ildefonso, J. S. (2012). Analysis of use of natural 585 fibers and asphalt rubber binder in discontinuous asphalt mixtures. *Construction and Building Materials*, 26(1), 13–20.
- Reis, R.; Santo, N.; Zanon, A. (2000) SMA – Stone Matrix Asphalt Revestimento de Alta Performance para Vias de Tráfego Pesado. In: *Anais da Reunião Anual de Pavimentação – 32º RAPv*, v. 01, pp. 134-142, Brasília, Distrito Federal, Brasil.
- Rosa, L., Ribeiro, S. (2001) The present, past and future contributions to global warming of CO2 emissions from fuels. *Climatic Change*, v. 48, pp. 289-308.
- Sheng, Y., Li, H., Guo, P., Zhao, G., Chen, H., e Xiong, R. (2017). Effect of Fibers on Mixture Design of Stone Matrix Asphalt. *Applied Sciences*, 7(3), 297.
- Vale, A. C. (2007). *Estudo laboratorial da viabilidade do uso de fibras de coco em misturas asfálticas do tipo SMA*. Dissertação. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- Vale, A. C., Casagrande, M. D. T., e Soares, J. B. (2013). Behavior of Natural Fiber in Stone Matrix Asphalt Mixtures Using Two Design Methods. *Journal of Materials in Civil Engineering*. 614 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000815, 457–465.