

EXPERIÊNCIA EM MISTURAS BETUMINOSAS DO TIPO SMA COM FIBRAS REVESTIDAS A CERAS POLIOLEFÍNICAS

Luis Melé¹, Luís Quaresma², Daniela Augusto³

¹ Ravago Chemicals Spain S.A., Calle Venezuela, 103 4 Pta., 8019, Barcelona, Espanha

email: Luis.Mele@ravagochemicals.com

² Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias, Faculdade de Engenharia, Campo Grande, 376, 1749-024 Lisboa, Lisboa, Portugal

³ Ravago Chemicals Portugal Lda, Rua Abade Mondegor 175, 4455-489, Perafita, Porto, Portugal

email: Daniela.Augusto@ravagochemicals.com

Sumário

As misturas betuminosas do tipo SMA (Stone Mastic Asphalt) são constituídas por uma mistura de agregados de granulometria descontínua, composta por um esqueleto de agregado britado grosso e por um mastique betuminoso rico em betume. A utilização de fibras celulósicas revestidas a ceras poliolefinicas tem constituído uma solução importante para evitar o escorrimento do ligante, fenómeno potenciado pelo elevado conteúdo de betume.

No presente artigo faz-se uma avaliação do comportamento de misturas do tipo SMA com utilização de fibras celulósicas revestidas a ceras poliolefinicas em diversas aplicações realizadas sobretudo em infraestruturas de alto nível na Europa.

Palavras-chave: Stone Mastic Asphalt; Fibras revestidas a ceras poliolefinicas; Comportamento; Aplicações; Durabilidade.

1 INTRODUÇÃO

A maioria dos pavimentos rodoviários são do tipo flexível apresentando, nas camadas mais superficiais, misturas betuminosas, em geral fabricadas a quente. As características de diversos tipos destas misturas encontram-se especificadas na norma EN 13108, partes 1 a 7. As misturas do tipo “Stone Mastic Asphalt” (SMA) estão enquadradas na Parte 5.

As misturas SMA (*Splittmastixasphalt* em alemão) foram desenvolvidas na Alemanha no final dos anos 60 do século passado [1]. A conceção dessas misturas é de uma estrutura formada por um esqueleto granular com elevado contato entre as partículas, o que proporciona elevada resistência ao corte e reduzido potencial de deformação permanente. Esta estrutura é obtida pela utilização de uma mistura de frações de agregado que apresenta uma granulometria descontínua.

A conceção das misturas SMA permite a existência de um significativo espaço livre entre as partículas do agregado para a utilização de um elevado teor em ligante, o que possibilita uma maior durabilidade. A ligação entre as partículas do esqueleto mineral é assegurada pelo mastique betuminoso, formado por uma suspensão de agregados muito finos (fíler) num meio constituído por betume. As propriedades desta suspensão são influenciadas pelas características de betume e agregados e pela proporção destes constituintes [2]. Interações físicas e químicas específicas ocorrem na superfície das partículas, o que pode afetar aspetos tão diferentes quanto a resistência à ação da água e o envelhecimento do betume. O betume é em geral um betume puro modificado com polímeros e o comportamento do mastique depende do tipo e da dosagem de fíler [2] [3] [4].

As fibras são utilizadas como um inibidor dos fenômenos de escorrimento durante o fabrico e a colocação em obra das misturas betuminosas e, assim, contribuir para possibilitar a utilização de uma elevada dosagem de ligante e promover uma distribuição uniforme deste.

2 UTILIZAÇÃO DE FIBRAS CELULÓSICAS REVESTIDAS COM CERAS POLIOLEFÍNICAS

2.1 Caraterísticas das fibras

No presente artigo são avaliadas fibras celulósicas a revestir com ceras poliolefínicas constituídas por grãos de cor acinzentada, com um conteúdo em fibra celulósica pura de 88 a 92%. A fibra pura ativa tem um comprimento médio de cerca de 1,1 mm, um diâmetro médio de 45 μm e um pH de 6 a 8. Os grãos têm um comprimento médio de 2 a 8 mm e uma densidade aparente de 0,45 a 0,5 g/cm^3 .

Os grãos celulósicos são obtidos através de uma tecnologia extremamente avançada, incorporando uma cera poliolefínica, compatível com o betume, como veículo aglutinador que permite o encapsulamento da fibra, facilitando a rápida e homogênea dispersão dos grãos durante o processo de mistura na central betuminosa.

Devido à estrutura tridimensional dos grãos é obtida uma elevada viscosidade do betume, o que possibilita, por um lado, inibir o escorrimento do betume a elevadas temperaturas, durante o armazenamento, transporte e aplicação da mistura betuminosa e, por outro lado, assegurar a formação de uma espessa película de ligante envolvendo as partículas do esqueleto mineral, inibindo a oxidação do ligante, a infiltração de água e o fendilhamento.

2.2 Eficiência das fibras na inibição do escorrimento

Dada utilizarem uma elevada dosagem de ligante as misturas do tipo SMA poderão conduzir a fenômenos de escorrimento caso não lhe sejam incorporadas fibras. A avaliação do escorrimento é usualmente realizada em laboratório através de procedimento baseado no ensaio de Schelenberg, tal como previsto na norma EN 12697-18, utilizando um copo de vidro.

As fibras celulósicas com ceras poliolefínicas têm uma eficiência na inibição do escorrimento que é idêntica à que é conseguida por outros tipos de fibras celulósicas, como pode ser observado na Figura 1 para misturas betuminosas para camadas finas previstas na EN 13108-2, do tipo BBTM 0/11.

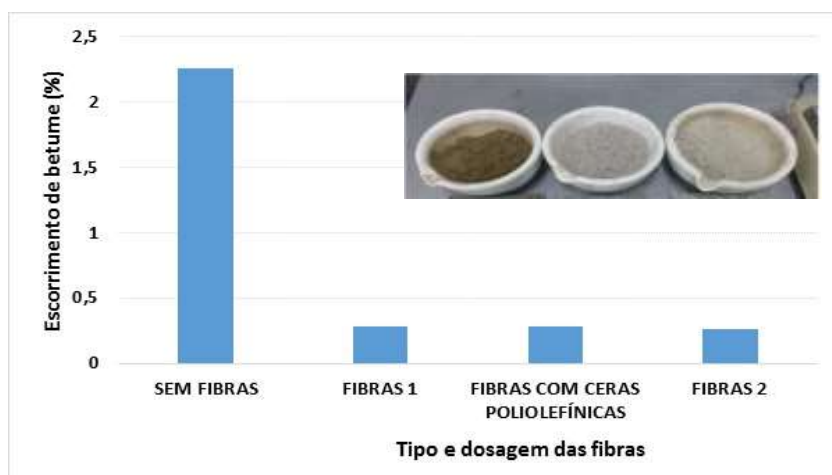


Fig.1. Comparação do escorrimento utilizando diversos tipos de fibras [5]

As “fibras 1” indicadas na Figura 1 são fibras celulósicas revestidas a betume e as “fibras 2” são um produto da empresa Ruthmann (Alemanha) que contem cerca de 60% de fibra celulósica pura estabilizada, além de cerca de 40% de um aditivo específico para misturas temperadas. Em qualquer dos casos de utilização de fibras foi obtido um escorrimento inferior a 0,3%, que é o valor máximo usualmente exigido para misturas do tipo SMA.

2.3 Avaliação do desempenho do ligante com fibras

Para a produção dos grãos celulósicos, as fibras são encapsuladas por um aglutinador, compatível com o betume. Com o objetivo de avaliar a influência, no comportamento reológico do betume com fibras incorporadas, de diferentes tipos de aglutinadores (taxa de 0,03% de aglutinador no peso da mistura), foram ensaiadas amostras de betume recuperado do tipo PMB 45/80-65 com ou sem adição de fibras (Amostra 3).

As amostras com adição de fibras incluem num dos casos fibras celulósicas com ceras poliolefinicas (Amostra 1) e no outro caso fibras celulósicas revestidas a betume (Amostra 2). Os ensaios para avaliação do comportamento reológico [6] foram realizados com reómetro de corte dinâmico (DSR) utilizando um afastamento entre pratos de 1 mm e as seguintes condições de temperatura e frequência:

- i) uma temperatura de 60 °C, sendo realizados varrimentos com frequências entre 0,01 e 10 Hz;
- ii) uma frequência de 1,59 Hz sendo realizados varrimentos com temperaturas entre 20 e 80 °C.

Nas Figuras 2 e 3 comparam-se os resultados das três amostras no que se refere ao módulo complexo de corte $|G^*|$, ao ângulo de fase δ e à viscosidade dinâmica. Os resultados reológicos obtidos indicam que a influência do aglutinador de ambas as fibras no ligante final é muito reduzida.

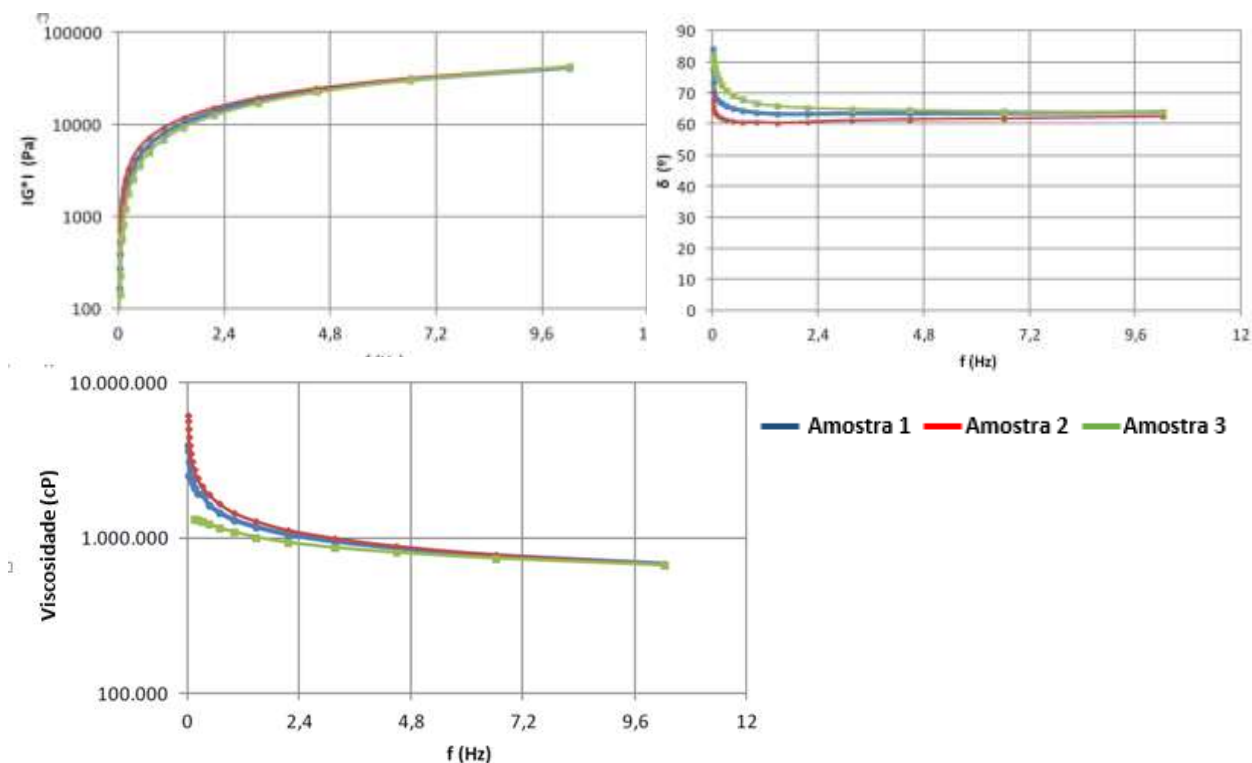


Fig.2. Avaliação do efeito da utilização de fibras no comportamento reológico de um betume, em ensaios com reómetro de corte dinâmico com varrimento de frequência [6]

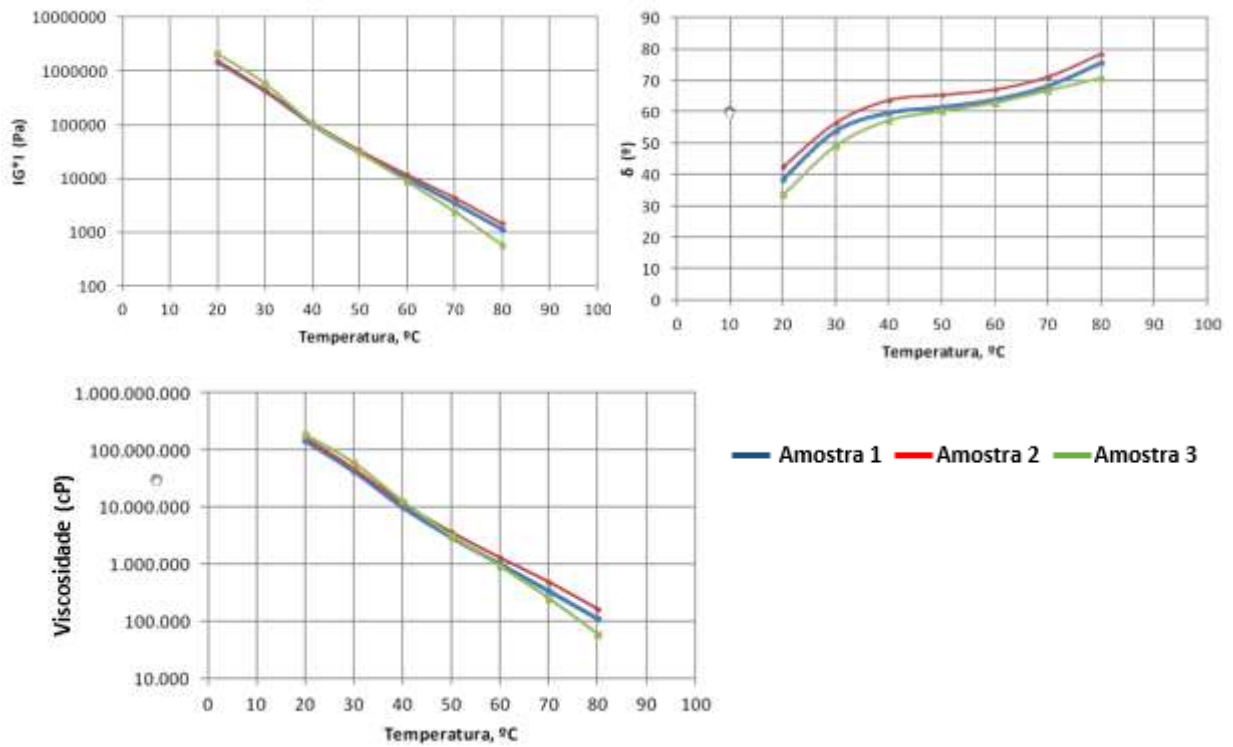


Fig.3. Avaliação do efeito da utilização de fibras no comportamento reológico de um betume, em ensaios com reômetro de corte dinâmico com varrimento de temperatura [6]

2.4 Composição da mistura

A dosagem recomendada para as fibras celulósicas com ceras poliolefinicas é de cerca de 0,3% relativamente ao peso da mistura, podendo ser aumentada até um valor máximo de 0,8% para os casos em que essa necessidade. O valor a utilizar é estabelecido em ensaios prévios realizados em laboratório.

A composição da mistura pode ser obtida em ensaio Marshall, em geral seguindo a EN 12697-34, utilizando na moldagem de provetes o procedimento previsto na EN 12697-30 aplicando 50 pancadas em cada base do provete. As características Marshall usualmente exigidas são uma estabilidade entre 12,5 e 17,5 kN, uma deformação entre 2 e 4 mm, um quociente Marshall com um valor mínimo de 3. Na Figura 4 apresentam-se os resultados obtidos para um SMA com agregado de dimensão nominal máxima de 11 mm utilizando um betume modificado com polímeros do tipo 25/55-65 (SMA 11 PMB 25/55-65), utilizando uma percentagem de betume de 5,8% e incorporando 0,3% de fibras [7].

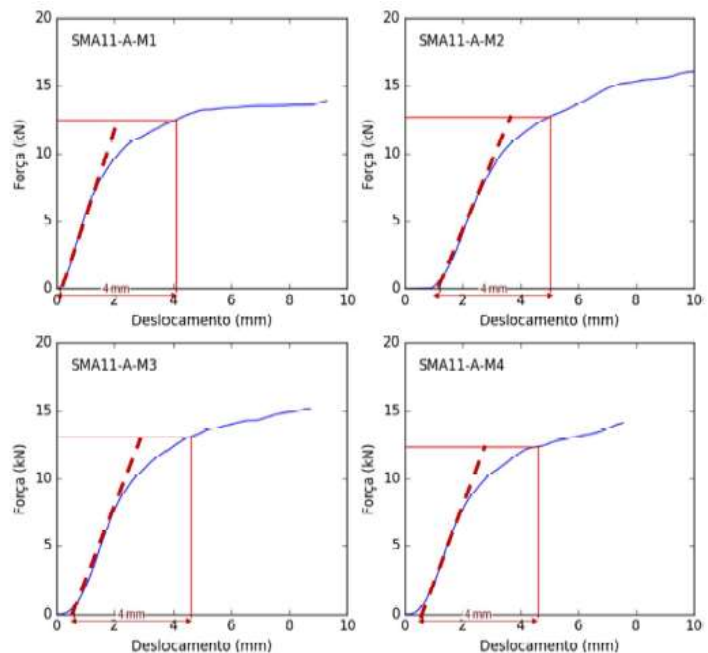


Fig.4. Curvas força vs deslocamento em ensaios Marshall [8]

2.5 Fabrico e aplicação da mistura

O fabrico das misturas do tipo SMA utilizando fibras celulósicas revestidas com ceras poliolefinicas é semelhante ao que é utilizado habitualmente para as misturas SMA.

Os grãos celulósicos devem ser incorporados no momento da descarga do agregado na unidade de mistura. O tempo de mistura seca deve permitir a dispersão dos grãos, o que pode necessitar de 0 a 10 segundos, em função do tipo e capacidade da unidade de mistura. Estas condições podem também influenciar o tempo de mistura húmida, que deve ser estabelecido com base na experiência.

2.6 Avaliação de desempenho da mistura

Em Abril de 2017 foi aplicada, num trecho experimental, uma camada de SMA 11 PMB 25/55-65 em pavimento de caminho de circulação no Aeroporto de Faro (ANA). Sobre amostras recolhidas do pavimento foram realizados em laboratório ensaios para avaliação da sensibilidade à água, da rigidez, da resistência à deformação permanente e da resistência à fadiga [8].

A avaliação da sensibilidade à água foi realizada através de ensaios realizados segundo o método A da norma EN 12697-12. As amostras ensaiadas foram recolhidas, por meio de sonda rotativa, do pavimento. Foi obtida uma resistência conservada em tração indireta (ITSR) de 100%, o que reflete uma excelente resistência do SMA à ação da água.

O comportamento relativamente à deformação permanente foi avaliado em ensaios realizados de acordo com a norma EN 12697-22, utilizando o equipamento de pequenas dimensões, segundo o procedimento B. A temperatura de ensaio foi de 60 °C. Na Figura 5 resumem-se os resultados obtidos, obtendo-se uma deformação permanente no conjunto dos dois provetes WTS_{AIR} de 0,08 mm por 1000 ciclos e PRD_{AIR} de 4,9%, o que se enquadra noutros estudos da mesma natureza [8].

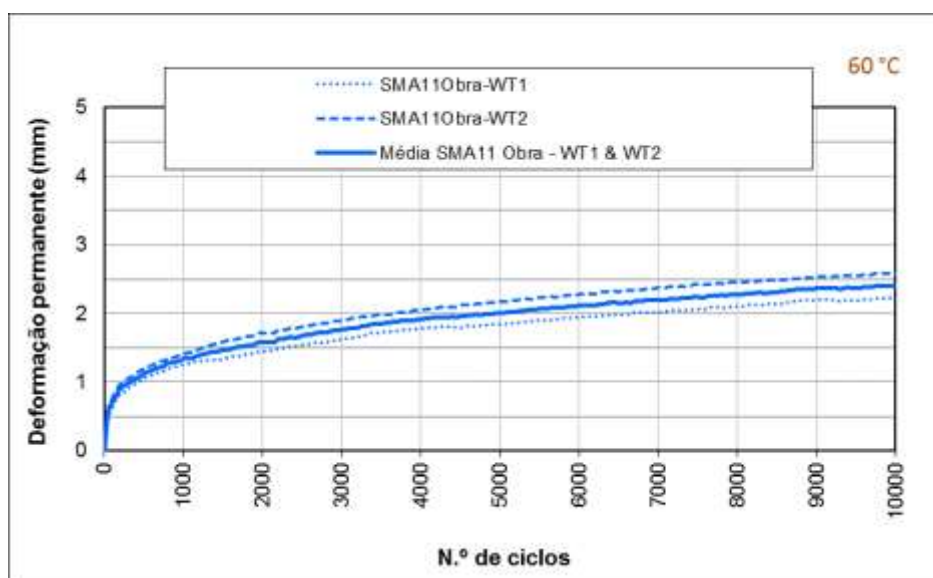


Fig.5. Deformação permanente de provetes recolhidos do pavimento [8]

A avaliação da rigidez foi realizada em ensaios baseados na norma EN 12697-26 utilizando uma flexão em quatro pontos. Os provetes prismáticos foram cortados das lajes recolhidas do pavimento, sendo avaliada a respetiva porosidade, obtendo-se valores entre 6,5 e 8,5%. Os ensaios foram realizados à temperatura de 20 °C e foram utilizadas frequências entre 0,1 e 10 Hz. Na Figura 6 apresentam-se os resultados obtidos.

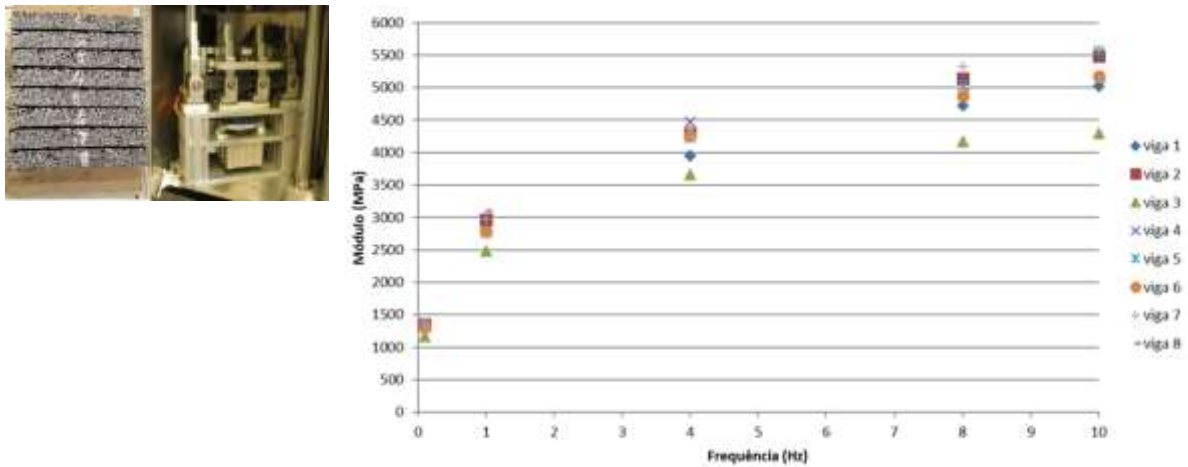


Fig.6. Modulo de rigidez de provetes recolhidos do pavimento [8]

Os resultados dos vários provetes são bastante semelhantes e apontam para um módulo de rigidez de cerca de 5000 MPa para uma temperatura de 20 °C e uma frequência de 8 Hz. Estes valores são da mesma ordem de grandeza dos que são usualmente obtidos, para as mesmas condições de ensaio, com betões betuminosos tradicionais.

A resistência à fadiga foi avaliada com base na norma EN 12697-24 (flexão em quatro pontos) sobre vigas extraídas de lajes recolhidas do pavimento. Os ensaios foram realizados à temperatura de 20° C e a uma frequência de 10 Hz, utilizando extensões de tração entre 400 µm/m e 600 µm/m. A Figura 7 apresenta graficamente os resultados dos ensaios e a lei de fadiga obtida.

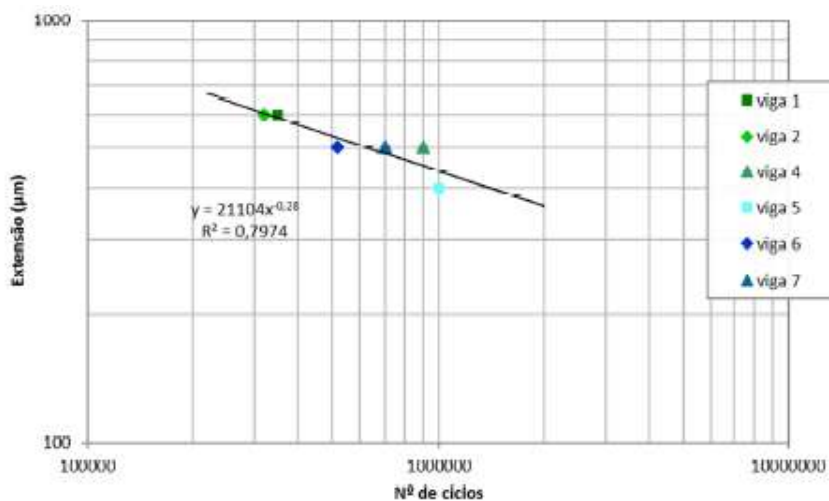


Fig.7. Resultados dos ensaios de fadiga de provetes recolhidos do pavimento [8]

Verifica-se que para a mistura SMA com utilização de fibras celulósicas com ceras poliolefinicas foi estabelecida uma extensão correspondente a uma vida à fadiga de 10^6 ciclos de 440 µm/m, o que corresponde a um excelente desempenho relativamente à resistência à fadiga.

3 EXPERIÊNCIA DE APLICAÇÃO DE SMA COM FIBRAS CELULÓSICAS REVESTIDAS COM CERAS POLIOLEFÍNICAS

Apesar de desde o final da década de 60 do século passado serem aplicadas em países europeus misturas do tipo SMA, a utilização nessas misturas de fibras celulósicas revestidas com ceras poliolefínicas ocorreu nas últimas duas décadas. Estas aplicações ocorreram em pavimentos rodoviários, sobretudo em estradas com tráfego intenso, em aeroportos e em infraestruturas portuárias de muitos países europeus (Alemanha, Holanda, Bélgica, Reino Unido, Dinamarca, Polónia, Espanha, etc). Em Portugal a utilização de fibras celulósicas com ceras poliolefínicas em pavimentação é recente, tendo sido iniciada em 2015.

A utilização daquelas fibras tem globalmente resultado em aplicações bem-sucedidas, o que tem conduzido a uma regular utilização do produto ao longo dos últimos anos. Nos Quadros 1 e 2 e nas Figuras 8 e 9 apresentam-se exemplos de obras onde foram aplicadas misturas betuminosas utilizando fibras celulósicas com ceras poliolefínicas.

Quadro 1. Aplicações de misturas SMA com fibras celulósicas com ceras poliolefínicas

Ano	Local	Empreiteiro	Material	Tonelagem
2014	Autovia A5 (Madrid)	DRAGADOS	SMA 11 PMB 45/80-65 com 0,3% de fibras	> 10000 ton
2014	Autopista AP68 (Logroño)	EIFFAGE	SMA 11 PMB 45/80-65 com 0,3% de fibras	< 1000 ton
2014	Aerop. Deelen (Holanda)	KWS Infra	SMA 11 com 0,4% de fibras	cerca 5000 ton
2015	Estrada M30 (Madrid)	ASFALT. VICÁLVARO	SMA 11 PMB 45/80-65 com 0,3% de fibras	cerca 1000 ton
2015	Vias portuárias (Huelva)	O.H.L.	SMA 11 PMB 45/80-65 com 0,3% de fibras	> 7000 ton
2017	Autovia A1(Madrid)	TECNOFIRMES	SMA 11 PMB 45/80-65 com 0,3% de fibras	> 15000 ton
2017	Aerop. Faro	TECNOVIA	SMA 11 PMB 45/80-65 com 0,3% de fibras	< 200 ton
2018	Autovia A42 (Madrid)	TECNOFIRMES	SMA 11 PMB 45/80-65 com 0,3% de fibras	> 5000 ton



Fig.8. Aplicação de SMA na Autovia A5 (Madrid) em 2014

Quadro 2. Aplicações de misturas BBTM com fibras celulósicas com ceras poliolefínicas

Ano	Local	Empreiteiro	Material	Tonelagem
2014	Autopista AP2 (Zaragoza)	PAPSA-VIALEX	BBTM 11 PMB 45/80-65 com 0,3% de fibras	> 23000 ton
2014	Autopista AP2 (Lleida)	ROMERO POLO	BBTM 11 PMB 45/80-65 com 0,3% de fibras	> 18000 ton
2014	Autopista AP7 (Jonquera)	RUBAU TARRES	BBTM 11 PMB 45/80-65 com 0,3% de fibras	> 8000 ton
2014	Aerop. Adolfo Suarez	ASFALPASA	BBTM 11 B50/70 com 0,3% de fibras	> 10000 ton
2015	Aerop. Mallorca	MAB	BBTM 11 PMB 45/80-65 com 0,3% de fibras	> 6000 ton
2015	Autopista C32	TECNOFIRMES	BBTM 11 PMB 45/80-65 com 0,3% de fibras	> 18000 ton
2015	Aerop. Adolfo Suarez	DRAGADOS	BBTM 11 PMB 45/80-65 com 0,3% de fibras	> 160000 ton
2015	Autopista AP2	ROMERO POLO	BBTM 11 PMB 45/80-65 com 0,3% de fibras	> 8000 ton
2015	Autovia B30 (Barcelona)	FIRTEC	BBTM 11 PMB 45/80-65 com 0,3% de fibras	> 30000 ton
2015	Aerop Sevilla	UTE FONSAN SL-OB	BBTM 11 PMB 45/80-65 com 0,3% de fibras	< 1000 ton
2016	Autopista C32	TECNOFIRMES	BBTM 11 PMB 45/80-65 com 0,3% de fibras	> 16000 ton
2016	Autopista AP7 (Aumar)	BECSA	BBTM 11 PMB 45/80-65 com 0,3% de fibras	> 6000 ton
2016	Autopista AP68 (AVASA)	ABERTIS	BBTM 11 PMB 45/80-65 com 0,3% de fibras	> 14000 ton
2016	Autopista AP2 (Zaragoza)	VIALEX	BBTM 11 PMB 45/80-65 com 0,3% de fibras	> 20000 ton
2016	Autopista AP68 (AVASA)	EIFFAGE	BBTM 11 PMB 45/80-65 com 0,3% de fibras	> 3000 ton
2016	Aerop. Adolfo Suarez	CONST. ABALDO	BBTM 11 PMB 45/80-65 com 0,3% de fibras	> 5000 ton
2017	Autopista AP7 (Aumar)	BECSA	BBTM 11 PMB 45/80-65 com 0,3% de fibras	> 5000 ton
2017	Autopista C32	ASF. BARCINO	BBTM 11 PMB 45/80-65 com 0,3% de fibras	> 15000 ton
2017	Autopista AP2	ROMERO POLO	BBTM 11 PMB 45/80-65 com 0,3% de fibras	> 6000 ton
2017	Aerop. Adolfo Suarez	VELASCO	BBTM 11 PMB 45/80-65 com 0,3% de fibras	cerca 3000 ton
2017	Aerop. Adolfo Suarez	ABALDO	BBTM 11 PMB 45/80-65 com 0,3% de fibras	cerca 4000 ton
2017	Autopista AP2	SORIGUE	BBTM 11 PMB 45/80-65 com 0,3% de fibras	> 12000 ton
2017	Aerop. Adolfo Suarez	PADECASA	BBTM 11 PMB 45/80-65 com 0,3% de fibras	cerca 8000 ton
2017	Autopista AP66	PADECASA	BBTM 11 PMB 45/80-65 com 0,3% de fibras	cerca 5000 ton
2017	Aerop. Adolfo Suarez	CISER	BBTM 11 PMB 45/80-65 com 0,3% de fibras	cerca 3000 ton
2017	Aerop Fuerteventura	PADECASA	BBTM 11A bet. borracha com 0,15% de fibras	cerca 26500 ton
2017	Aerop Asturias	UTE AER ASTURIAS	BBTM 11 PMB 45/80-65 com 0,3% de fibras	cerca 7500 ton
2018	Aerop Barcelona	ELSAN	BBTM 11 PMB 45/80-65 com 0,3% de fibras	cerca 2500 ton
2018	Aerop Fuerteventura	UTE ADEPLENA	BBTM 11 PMB 45/80-65 com 0,3% de fibras	cerca 3000 ton
2018	Aerop Salamanca	MATIAS ARROM	BBTM 11 PMB 45/80-65 com 0,3% de fibras	cerca 15000 ton
2018	Autopista AP2	SORIGUE	BBTM 11 PMB 45/80-65 com 0,3% de fibras	> 4000 ton
2018	Autopista C32	TECNOFIRMES	BBTM 11 PMB 45/80-65 com 0,3% de fibras	> 27000 ton



Fig.9. Aplicação de BBTM 11A (F10) no Aeroporto Adolfo Suarez (Madrid) em 2015

4 CONCLUSÕES

No presente artigo apresentaram-se os aspetos de conceção das misturas betuminosas do tipo Stone Mastic Asphalt (SMA), enquadradas na norma europeia EN 13108-5, realçando-se a estrutura formada por um esqueleto granular que permite uma elevada resistência à deformação permanente, em que essa estrutura é obtida pela utilização de agregado com granulometria descontínua, e a necessidade de utilização de fibras como estabilizador, inibindo os fenómenos de escorrimento durante o fabrico e a colocação em obra das misturas betuminosas e, assim, contribuir para possibilitar a utilização de uma elevada dosagem de ligante e promover uma distribuição uniforme deste.

Foram apresentadas as características das fibras celulósicas com ceras poliolefinicas e das misturas SMA utilizando este produto. Estas misturas evidenciam uma eficiente limitação do escorrimento do ligante e uma excelente resistência do SMA à ação da água. A resistência à deformação permanente e a rigidez são adequadas e comparáveis com a de materiais da mesma natureza. Verifica-se que a mistura SMA com utilização de fibras celulósicas com ceras poliolefinicas apresenta um excelente desempenho relativamente à resistência à fadiga.

Também se evidenciou que os tipos de aglutinadores utilizados nas fibras estudadas, têm reduzido impacto nas características reológicas do betume recuperado das misturas aplicadas no pavimento.

O bom desempenho de inúmeras aplicações realizadas com celulósicas com ceras poliolefinicas nos últimos anos (na Europa em mais de 20×10^6 toneladas de misturas betuminosas e em Espanha em mais de 700×10^3 toneladas após 2014), de que se apresentaram diversos exemplos, tem permitido uma absolutamente regular utilização de misturas betuminosas com utilização daquelas fibras ao longo dos últimos anos. Tal permite uma perspectiva de introdução mais generalizada da utilização destas fibras em Portugal, estando desde já prevista em 2019 a sua aplicação em obra na rede rodoviária nacional (camada de desgaste em SMA com utilização de fibras celulósicas com ceras poliolefinicas).

5 REFERÊNCIAS

1. K. Blazejowski, *Stone Matrix Asphalt. Theory and Practice*, CRC Press, New York, 2011.
2. V. Antunes, A.C. Freire, L. Quaresma, R. Micaelo, *Influence of the geometrical and physical properties of filler in the filler-bitumen interaction*, *Construction and Building Materials* 76, 322–329. 2015.
3. V. Antunes, A.C. Freire, L. Quaresma, R. Micaelo, *Effect of the chemical composition of fillers in the filler-bitumen interaction*, *Construction and Building Materials* 104, 85–91, 2016.
4. Pereira, L.; Freire, A.C.; Sá da Costa, M.; Antunes, V.; Quaresma, L.; Micaelo, R., *Experimental study of the effect of filler on the ductility of filler-bitumen mastics*, *Construction and Building Materials* 189, 1045–1053, 2018.
5. EPTISA, *Estudio comparativo para evaluar la dispersión y escurrimiento de las fibras de celulosa INNOCELL® FG3000*, Expediente nº 140114, 2014.
6. CIESM-INTEVIA, *Mezcla bituminosa en caliente Campi y Jové con INNOCELL® FG3000*, Informe de ensayo nº 0314/002, 2014.
7. TECNOVIA, *Ensaio sobre mistura betuminosa SMA 11 PMB 25/55-65 com incorporação de fibras INNOCELL FG3000*, Refª 17201, Castro Verde, 2017.
8. LNEC, *Estudo sobre uma mistura betuminosa do tipo “Stone Mastic Asphalt” incorporando fibras “INNOCELL® FG3000”*, aplicada num trecho experimental, Lisboa, 2018.