

ESTUDO DE APLICAÇÃO DE ADITIVO SURFACTANTE EM MISTURAS ASFÁLTICAS DO TIPO SMA

Douglas Cardoso Engelke
Camila Kern
Gracieli Bordin Colpo
Marlova Grazziotin Johnston
Jorge Augusto Pereira Ceratti
Renan Zocal

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – Construção e Infraestrutura
Laboratório de Pavimentação

RESUMO

A mistura do tipo SMA, *Stone Matrix Asphalt*, é uma mistura asfáltica que tem graduação descontínua e é amplamente utilizada em rodovias com volume de tráfego elevado. Esse trabalho avaliou a utilização de um aditivo surfactante líquido no ligante asfáltico, para a produção de uma mistura morna do tipo SMA sem a utilização de fibras. Os resultados obtidos mostram que o emprego destas misturas em temperaturas intermediárias pode ser possível, quando os parâmetros de projeto exigidos pelo projeto de normatização existente no Brasil forem atendidos. Os ensaios de resistência à tração, de escorrimento do ligante asfáltico e de dano por umidade induzida foram satisfatórios. O volume de vazios de agregado mineral (VAM) é um fator a ser melhor analisado, uma vez que não foi possível atingir o valor mínimo exigido. A continuidade do estudo será a avaliação de desempenho mecânica desta mistura.

ABSTRACT

The SMA mix, *Stone Matrix Asphalt*, is an asphalt mixture that has a discontinuous grade and is widely used on high traffic highways. This article evaluated the use of a liquid surfactant additive in the asphalt binder in order to produce a warm mixture of the SMA type without the use of fibers. The results show that the utilization of these mixtures at intermediate temperatures may be possible, when the design parameters required by the existent standardization project in Brazil are achieved. Tests of tensile strength, mix draindown of the asphalt binder and induced moisture damage were satisfactory. The volume of voids of mineral aggregate (VAM) is a factor to be better analyzed, since it was not possible to reach the required minimum value. The continuity of the study will be the mechanical performance evaluation of this mixture.

1. INTRODUÇÃO

O crescente aumento no volume de tráfego das rodovias exigiu e, ainda exige, estudos na área de pavimentação para que seja possível construir estruturas de pavimentos mais resistentes e economicamente viáveis. As misturas do tipo SMA surgiram como uma possibilidade frente a esses desafios, uma vez que a sua estrutura pode ser benéfica quando comparada a outros tipos de misturas asfálticas em rodovias de alto volume de tráfego.

Com o decorrer do tempo, novas tecnologias na área de pavimentação surgiram e, é necessário avaliar a possível utilização de novos elementos para que seja possível obter estruturas com desempenhos cada vez melhores. Sendo assim, a utilização de misturas mornas em misturas do tipo SMA é uma possibilidade importante para o meio rodoviário.

O objetivo dessa pesquisa foi estudar a possibilidade de não utilizar fibras em uma mistura tipo SMA, adicionando um aditivo surfactante e obtendo-se, assim, uma mistura morna do tipo SMA. Para alcançar esse propósito, foram avaliados dois tipos de misturas: uma mistura SMA convencional com a adição de cal como melhorador de adesividade e adição de fibras de celulose como inibidor de escorrimento do ligante asfáltico e uma mistura SMA morna sem a utilização de cal e de fibras de celulose.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Misturas Asfálticas SMA

A mistura asfáltica SMA, ou *Stone Matrix Asphalt*, é um tipo de mistura asfáltica desenvolvida no final dos anos 60 na Alemanha. Esse tipo de mistura apresenta uma graduação descontínua com uma quantidade maior de agregados graúdos, além de uma quantidade significativa de fíler, que forma o mástique asfáltico junto com o ligante para o preenchimento de vazios. Na sua composição, há ainda a presença de fibras, essenciais nesse tipo de mistura (Mourão, 2003) e que ajudam na inibição do escorrimento do ligante asfáltico. O comparativo entre uma mistura do tipo SMA e um Concreto Asfáltico Convencional é apresentado na Figura 1.

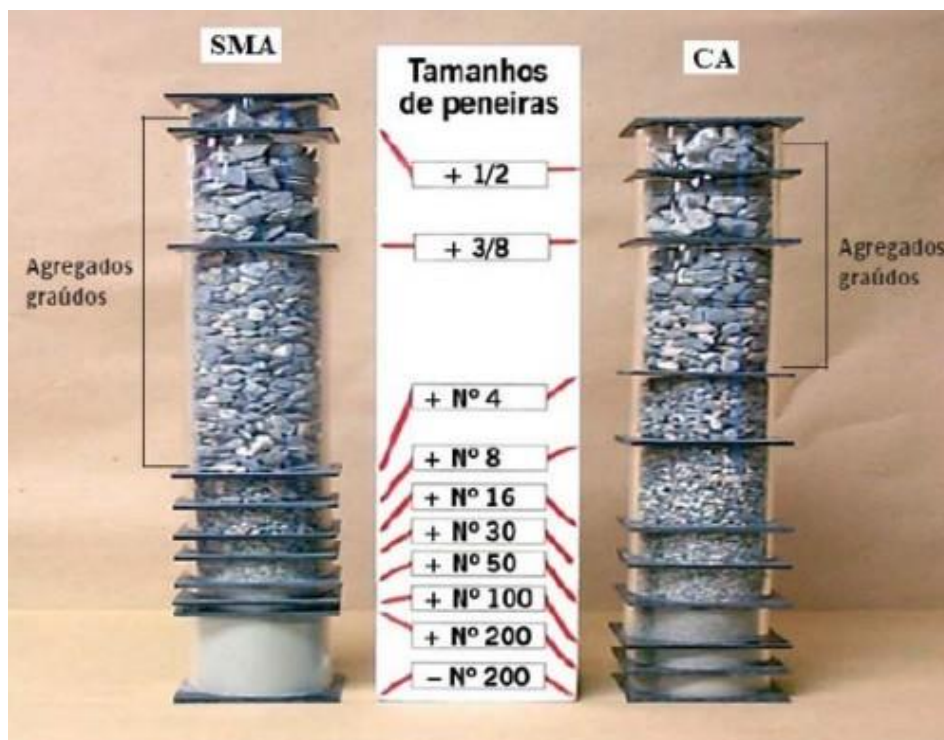


Figura 1: Comparativo entre SMA e CA (concreto asfáltico denso) (Bernucci *et al.*, 2010)

Esse tipo de mistura asfáltica normalmente é mais resistente à deformação permanente, ao surgimento de trincas por fadiga e ao desgaste quando comparados às misturas convencionais, sendo comumente utilizada em rodovias com alto volume de tráfego. Esta afirmação é apresentada também por NAPA (2017) que verificou que essas misturas apresentam um menor afundamento de trilha de roda e uma maior resistência ao trincamento por fadiga quando comparadas a misturas densas convencionais.

O melhor desempenho em relação à deformação permanente deve-se à maximização do contato entre os agregados graúdos (Reis, 2002). Quanto às trincas por fadiga e ao desgaste, a maior espessura da película de asfalto é responsável pela melhor performance (Neves Filho, 2004). Por ter uma macrotextura entre média e grosseira, o SMA melhora a aderência entre pneu e pavimento, além de diminuir o *spray* de água, uma vez que há uma menor concentração de água na superfície do revestimento asfáltico (Silva, 2005).

Ainda, de acordo com Celaya e Haddock (2006), as misturas do tipo SMA têm sua vida de serviço ampliada em 20% a 30% quando comparadas com misturas densas convencionais, devido à maior resistência à deformação permanente e à maior durabilidade da mistura.

2.2 Mistura Mornas

As misturas mornas obtidas com aditivo surfactante têm o seu uso cada vez mais difundido na área da pavimentação pelas diversas vantagens que as mesmas podem trazer em todo o processo construtivo dos revestimentos asfálticos.

Essas misturas são feitas adicionando-se um aditivo surfactante líquido no ligante asfáltico. Essa adição permite a redução nas temperaturas de usinagem das misturas asfálticas trazendo alguns benefícios importantes como a redução de emissão de poluentes (D'Angelo *et al.*, 2008), a redução de consumo de energia (Ingevity-LAPAV, 2015) e as melhores condições de trabalho no meio rodoviário (Engelke *et al.*, 2016).

Além disso, há a possibilidade de haver um ganho de tempo entre a usinagem e a compactação das misturas em campo por ocorrer um menor decréscimo da temperatura e, por consequência, proporcionar distâncias maiores entre a obra e a usina sem afetar a compactação. (Prowell *et al.*, 2012).

Alves (2015) demonstra que a utilização de misturas com temperaturas intermediárias moldadas em compactador giratório, quando comparadas com misturas convencionas, podem trazer uma maior homogeneidade da mistura e uma melhor distribuição espacial dos agregados no corpo de prova.

Barros (2017) mostra que o desempenho das misturas mornas, com aditivo surfactante, à deformação permanente pode ser superior dependendo do tipo de ligante a ser utilizado. Já Mocelin (2015) avalia que o uso de um aditivo surfactante permite a redução das temperaturas em até 30°C sem que haja perda de trabalhabilidade. Esses resultados demonstram que as misturas mornas podem trazer não só benefícios quanto ao aspecto ambiental, logístico e ergonômico, como também a aspectos ligados ao desempenho das misturas asfálticas.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a elaboração desse trabalho, utilizou-se a proposta de normatização técnica de camada de rolamento de SMA do Departamento de Estradas de Rodagem de São Paulo (DER-SP), cujo código é o ET-DE-P00/031, que propõe a regulamentação do procedimento para esse tipo de mistura no Brasil, já que não há norma para tal no país.

Para as duas misturas asfálticas estudadas, utilizou-se um ligante asfáltico modificado por polímero (AMP) 60/85. Na mistura morna, adicionou-se 0,4% do aditivo surfactante líquido Evotherm® P25. O agente surfactante existente nesses tipos de aditivos atua na interface entre agregado e ligante, permitindo uma maior lubrificação da mistura, promovendo o adequado recobrimento do agregado em temperaturas intermediárias, além de melhorar a adesividade entre eles.

A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos nos ensaios de caracterização realizados no ligante asfáltico com e sem o surfactante, demonstrando que todas as características exigidas pela Agência Nacional de Petróleo (ANP) foram atendidas.

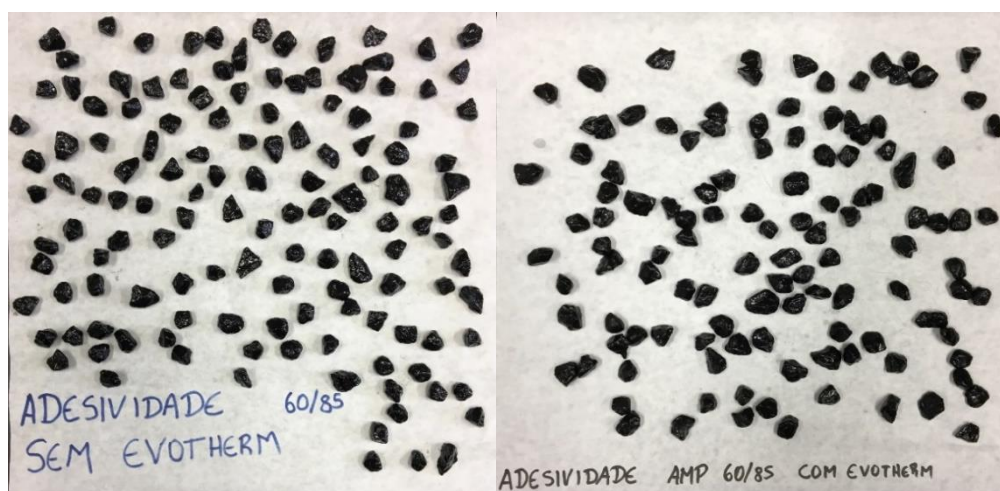
Tabela 1: Resultados da caracterização do ligantes asfáltico

Característica	Unidade	Método de Ensaio	Especificação ANP – 032/2010	AMP 60/85 virgem	AMP 60/85 morno
Penetração	0,1 mm	NBR 6576	40 à 70	41,7	51,3
Ponto de Amolecimento	°C	NBR 6560	≥ 60	63	63,6
Viscosidade Brookfield 135°C	cP	NBR 15184	≤ 3000	1825	1247
Viscosidade Brookfield 150°C	cP	NBR 15184	≤ 2000	783	572
Viscosidade Brookfield 177°C	cP	NBR 15184	≤ 3000	238,5	189,5
Densidade Relativa	g/cm ³	NBR 6296	-	1,0097	1,0000
Recuperação Elástica, 25 °C	%	NBR 15086	85 %	86,6	87,8

O agregado utilizado na pesquisa é de origem basáltica e os ensaios de caracterização exigidos pelo DER-SP foram realizados. Para o agregado graúdo, foi necessário avaliar o desgaste *Los Angeles* conforme NBR NM 51 (2001), o índice de forma conforme NBR 6954 (1989) e a durabilidade ao sulfeto de sódio conforme DNER ME 089 (1994). Para o agregado miúdo, avaliou-se o equivalente de areia conforme NBR 12052 (1992). Para a avaliação da adesividade do material, utilizou-se o método da NBR 12583 (1992). Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 2 e na Figura 2, sendo que todos atenderam aos requisitos exigidos.

Tabela 2: Resultados da caracterização do agregado

Características	Método de Ensaio	Parâmetros	Resultados
Abrasão <i>Los Angeles</i>	NBR NM 51	≤ 30 %	22%
Índice de Forma	NBR 6954	≥ 0,5	0,66
Durabilidade ao Sulfeto de Sódio	DNER ME 089	≤ 12%	4,9 %
Equivalente de Areia	NBR 12052	≥ 55%	68,7 %
Adesividade ao ligante betuminoso virgem	NBR 12583	Satisfatório	Satisfatório
Adesividade ao ligante betuminoso morno	NBR 12583	Satisfatório	Satisfatório

**Figura 2:** Resultados de adesividade sem e com o aditivo surfactante líquido

Nesse estudo, optou-se por realizar o ensaio de determinação do dano por umidade induzida de misturas asfálticas conforme a NBR 15617 (2015). Essa escolha foi feita uma vez que algumas pesquisas já indicaram que o ensaio de adesividade não garante o bom desempenho das misturas asfálticas à ação deletéria da água (Bernucci *et al.*, 2010).

A composição granulométrica da mistura de SMA foi obtida atendendo a faixa I da proposta de normatização técnica de camada de rolamento de SMA do DER-SP, ET-DE-P00/031. Foram utilizados brita de ½”, pedrisco, pó de pedra, filer, cal calcítica e fibra de celulose. O filer, considerado material de enchimento, teve a mesma origem dos outros agregados, a cal calcítica foi utilizada para melhorar a adesividade da mistura e a fibra de celulose para evitar o escorrimento do ligante asfáltico.

Assim que obtida a composição granulométrica, foram compactados corpos-de-prova tanto para a mistura quente quanto para a mistura morna pelo método Marshall, conforme a NBR 12891 (1993), com 50 golpes em cada face. Esses corpos de prova devem satisfazer os critérios determinados pelo projeto de norma conforme a Tabela 3.

Tabela 3: Requisitos para o Projeto de Misturas SMA (DER/SP-ET-DE-P00/031, 2007)

Características	Método de Ensaio	Parâmetros
% de Vazios Totais		4
Vazios do Agregado Mineral – VAM (%)		≥ 17
Vazios da fração graúda do agregado na mistura compactada – VCA _{MIX} (%)	-	≤ VCA _{DRC}
Porcentagem de fibras de celulose	-	0,3 a 1,5
Escorrimento na temperatura de usinagem máximo, %	ASTM D 6390 ou AASHTO T 305 ou “ensaio de Schellenberg”	0,3
Resistência à Tração por Compressão Diametral Estática a 25°C, mínima, MPa	NBR 15087	0,6

4. RESULTADOS

Através dos ensaios de granulometria de cada um dos materiais (Tabela 4) foi possível construir a curva granulométrica da mistura SMA quente considerando os limites dentro da faixa I do projeto de normatização.

Tabela 4: Granulometria dos materiais

Peneira	mm	Brita 1/2	Pedrisco	Pó de Pedra	Cal	Filer
3/4"	19,1	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
1/2"	12,70	96,70	100,00	100,00	100,00	100,00
5/16"	7,93	9,70	79,70	100,00	100,00	100,00
n 4	4,76	1,10	20,00	98,30	100,00	100,00
n 10	2,00	0,90	1,40	69,20	99,70	99,30
n 200	0,074	0,90	0,80	15,00	96,10	50,00

A composição da curva granulométrica da mistura SMA quente é apresentada na Figura 3, sendo composta por 50% de brita ½”, 19% de pedrisco, 20,1% de pó de pedra, 9% de filer, 1,5% de cal calcítica e 0,4% de fibra de celulose.

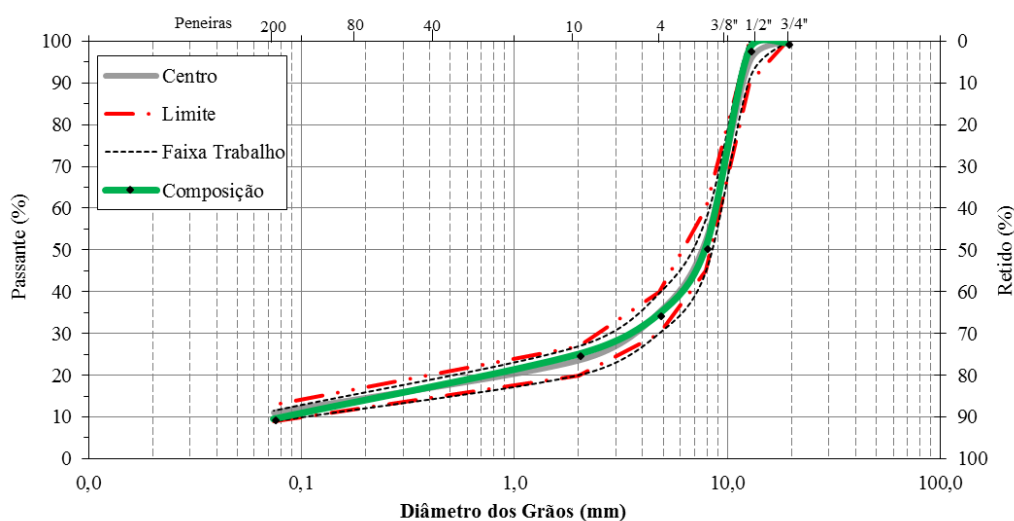


Figura 3: Composição granulométrica da mistura quente conforme faixa I DER-SP ET-DE-P00/031

Os corpos de prova foram moldados pelo método Marshall para cinco teores diferentes de ligante asfáltico a uma temperatura de usinagem de 155°C. A Figura 4 apresenta os gráficos com os resultados obtidos desta moldagem. De acordo com os resultados do projeto Marshall, o teor de asfalto ótimo foi definido em 5,6%, quando o volume de vazios resultou em 4,0% e o volume de vazios de agregado mineral (VAM) em 17%.

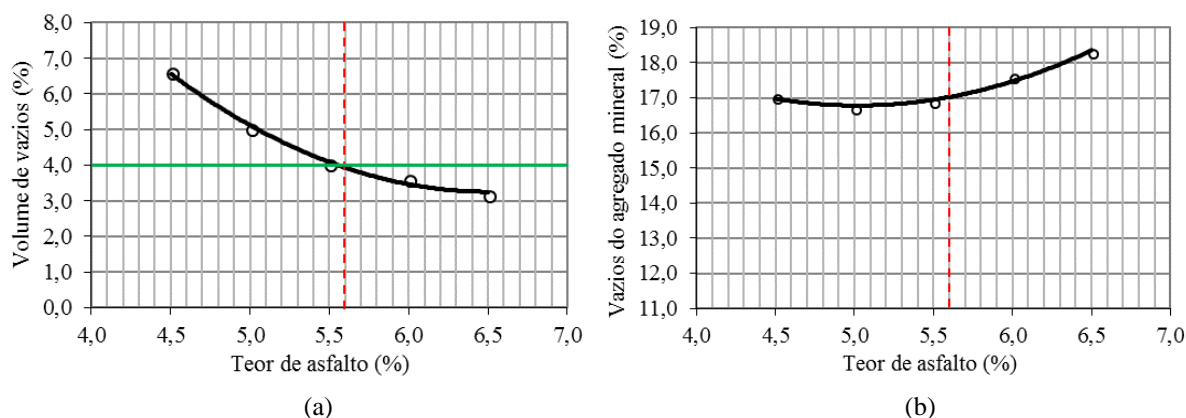


Figura 4: (a) Volume de vazios da mistura SMA quente; (b) VAM da mistura SMA quente

Para obter um projeto racional da mistura do tipo SMA é necessário garantir que o esqueleto pétreo permita que haja o contato entre os grãos dos agregados graúdos (DER/SP-ET-DE-P00/031, 2007). Isso ocorre quando os vazios da fração graúda do agregado da mistura compactada (VCA_{MIX}) são menores ou iguais aos vazios da fração graúda do agregado compactado (VCA_{DRC}). Na mistura quente o VCA_{DRC} foi de 42,7%, valor maior do que o VCA_{MIX} , cujo resultado foi de 33,3%.

Para a mistura SMA morna, retirou-se a cal e as fibras de celulose, e colocou-se fíler em substituição. Entretanto, o VAM para essa composição ficou abaixo das exigências do projeto de normatização. Desta forma, para aumentar a porcentagem dos vazios do agregado mineral,

alterou-se a proporção dos materiais. A composição final resultou em 47% de brita 1/2", 23% de pedrisco, 15% de pó de pedra e 15% de fíler, conforme a curva granulométrica da Figura 5.

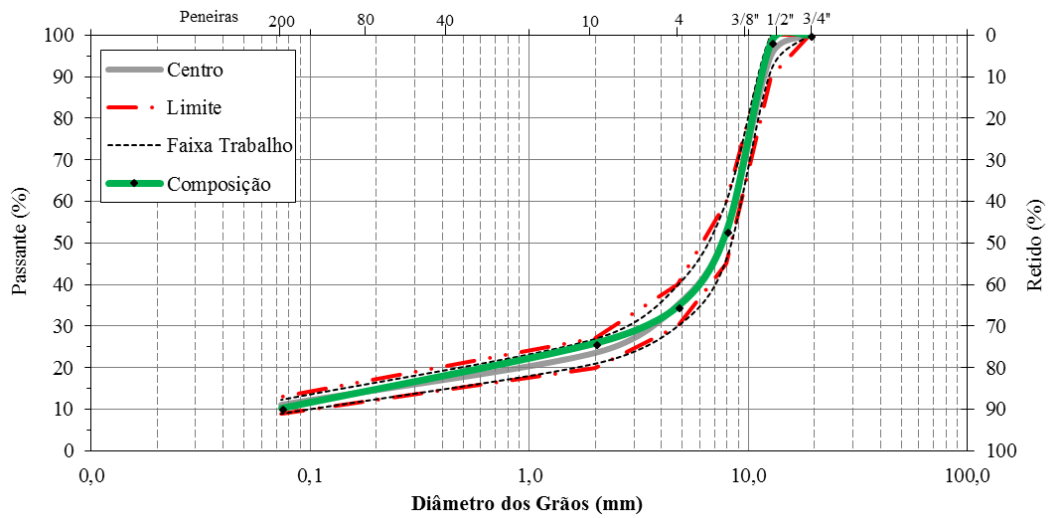


Figura 5: Composição granulométrica da mistura morna conforme faixa I DER-SP ET-DE-P00/031

Os corpos de prova foram moldados para os mesmos teores de ligante asfáltico da mistura SMA quente com uma temperatura de usinagem de 135°C. Desta maneira, estabeleceu-se o teor ótimo de projeto da mistura SMA morna em 5,3% apresentado um volume de vazios de 4,0% e um VAM de 16,5%, conforme Figura 6.

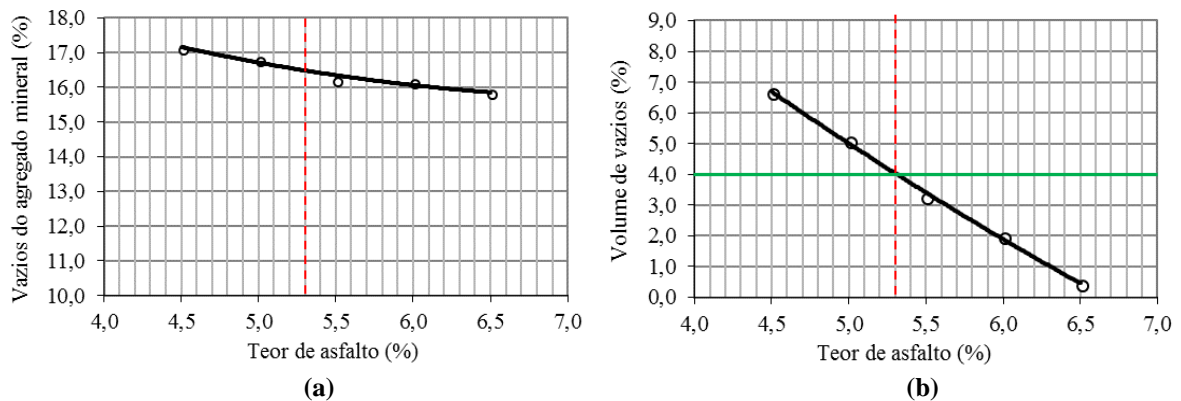


Figura 6: (a) Volume de vazios da mistura SMA morna; (b) VAM da mistura SMA morna

Na mistura SMA morna o VCA_{DRC} foi de 42,7%, mesmo valor da mistura SMA quente, uma vez que a análise é feita somente sobre o agregado, e o VCA_{MIX} foi de 32,7%.

Segundo o projeto de normatização, o valor mínimo de resistência à tração por compressão diametral estática deve ser de 0,6 MPa, valor que foi atingido pelas duas misturas asfálticas estudadas (Figura 7).

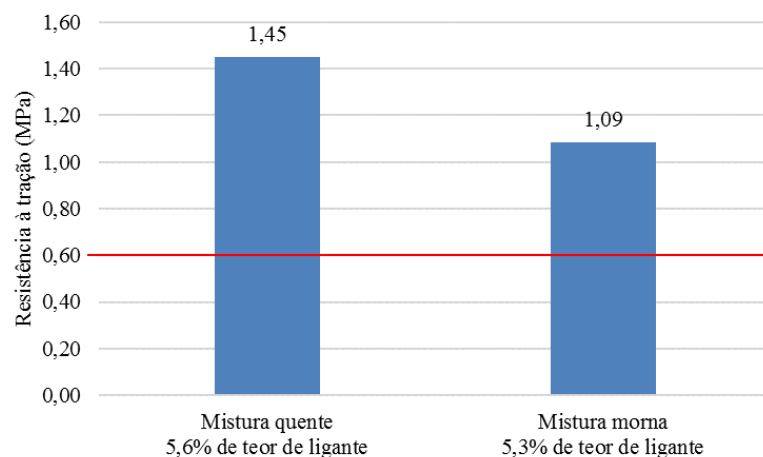


Figura 7: Resultados de resistência à tração por compressão diametral estática

De acordo com os resultados obtidos pode-se verificar que a resistência à tração da mistura SMA quente apresentou valores superiores ao da mistura SMA morna. Isto pode ter ocorrido devido à oxidação do ligante, o que acarreta no enrijecimento do concreto asfáltico e aumento da resistência à tração. Essa tendência também foi verificada em outros trabalhos como de Mensch (2017).

Para o escorrimento na temperatura de usinagem das misturas asfálticas, o valor máximo permitido deve ser de 0,3%. Como para misturas do tipo SMA o escorrimento é um fator de grande importância, para a mistura SMA morna, utilizada neste estudo sem fibra de celulose, o ensaio foi realizado em três temperaturas: 135°C (temperatura de usinagem), 150°C e 165°C. Para a mistura SMA quente, apenas a temperatura de usinagem foi testada. Na Tabela 5 é possível conferir os resultados obtidos.

Tabela 5: Escorrimento das misturas asfálticas

Mistura	Quente	Morna	Morna	Morna
Temperatura	155°C	135°C	150°C	165°C
Teor de ligante (%)	5,6	5,3	5,3	5,3
Escorrimento (%)	0,0	0,0	0,01	0,03

Os resultados dos ensaios de dano por umidade induzida são apresentados na Tabela 6 e Figura 8. A resistência à tração retida por umidade induzida (RRT), cujo valor é calculado pela razão da resistência à tração do corpo de prova condicionado pelo corpo de prova sem condicionamento, foi de 98% para a mistura SMA quente e de 94% para a mistura SMA morna, ficando com valores acima do exigido pela norma (mínimo de 70%).

Tabela 6: Resistência à tração do ensaio de dano por umidade induzidas

Mistura	Quente	Morna
RT sem condicionamento (MPa)	0,798	0,741
RT com condicionamento (MPa)	0,786	0,698

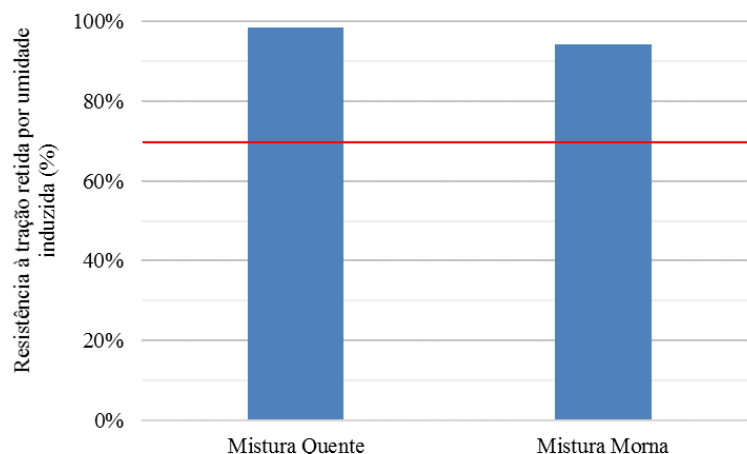


Figura 8: Resultados do ensaio de dano por umidade induzida para as duas misturas asfálticas

5. CONCLUSÃO

A partir do objetivo estabelecido por esse trabalho, que era a utilização de aditivo surfactante ao invés de fibras em uma mistura SMA, constata-se que quase todos os requisitos foram atingidos, conforme o projeto de normatização existente.

Os resultados de vazios da fração graúda do agregado da mistura e dos vazios da fração graúda do agregado compactado foram satisfatórios para os dois tipos de mistura, garantindo o contato entre os grãos no esqueleto pétreo da mesma. Entretanto, o volume de vazios de agregado mineral mínimo não foi atingido pela mistura SMA morna. Verificou-se uma melhora no volume de vazios do agregado mineral ao alterar a quantidade de materiais da mistura, porém uma análise aprofundada na composição granulométrica torna-se necessária para que não haja problemas com a faixa de trabalho e para que se consiga atingir o valor mínimo de 17% exigido na normatização.

Importante destacar, a queda no percentual de ligante asfáltico necessário para a mistura morna. A redução de 0,3% de ligante impacta significativamente nos custos de qualquer obra rodoviária, devido à grande quantidade necessária desse material para a construção de rodovias. Além disso, a retirada de fibra de celulose também pode impactar em uma redução significativa nos custos da obra. No entanto, uma melhor avaliação dos teores de ligante para a mistura do tipo SMA seria relevante, uma vez que a maioria das normas existentes em outros países apontam para um mínimo de 6% de ligante asfáltico.

O escorrimento do ligante asfáltico apresentou resultados satisfatórios, mesmo com a retirada das fibras de celulose. Esse fator é de extrema importância para esse tipo de mistura, uma vez que por apresentar granulometria descontínua, a probabilidade de ocorrer escorrimento do ligante asfáltico em campo torna-se maior. Para a validação deste comportamento é necessária a sua confirmação em campo, através da execução e acompanhamento de desempenho de trecho experimental, onde serão avaliados os efeitos de temperaturas e condições de tráfego reais. Este trecho experimental fará parte da continuidade do presente estudo.

Quanto à adesividade das duas misturas, verificou-se que a mesma atendeu os requisitos solicitados por norma. Mesmo com a redução da RRT da mistura SMA morna em relação a SMA quente, os valores foram bem superiores aos 70% exigidos pelo projeto de normatização.

Sendo assim, a adesividade e o escorrimento da mistura não foram prejudicados pelo uso do aditivo surfactante líquido ao invés da fibra de celulose e da cal calcítica.

Quanto ao desempenho das misturas, houve uma redução de 25% na resistência à tração por compressão diametral da mistura SMA morna comparada à mistura SMA quente. Entretanto, a resistência de 1,09 MPa para a mistura morna é cerca de 81% superior ao valor mínimo exigido.

Esse trabalho demonstra que há possibilidade de utilizar o aditivo surfactante em substituição à cal calcítica e às fibras de celulose em misturas do tipo SMA. Contudo, além da necessidade de melhora do VAM da mistura SMA morna, as próximas etapas a serem realizadas são a realização de ensaios de desempenho mecânico, como ensaios de fadiga, flow number e módulo dinâmico, para a avaliação de outros parâmetros necessários para a pavimentação.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Programa Especial de Treinamento em Engenharia Rodoviária, ao Laboratório de Pavimentação da Universidade Federal do Rio Grande do Sul e a empresa Ingevity pelo apoio no desenvolvimento desse trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT (2001) *NBR NM 51 – Agregado graúdo – Ensaio de Abrasão Los Angeles*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- ABNT (1989) *NBR 6954 – Lastro-Padrão – Determinação da forma do material*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- ABNT (1992) *NBR 12052 – Solo ou agregado miúdo – Determinação do equivalente de areia*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- ABNT (1992) *NBR 12583 – Agregado graúdo – verificação da adesividade a ligante betuminoso*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- ABNT (1993) *NBR 12891 – Dosagem de misturas betuminosas pelo método Marshall*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- ABNT (2015) *NBR 15617 – Misturas asfálticas – Determinação do dano por umidade induzida*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- ALVES, V. S. (2015) *Avaliação da homogeneidade dos agregados de uma mistura asfáltica*. Trabalho de conclusão de graduação. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.
- BARROS, L. M. (2017) *Deformação permanente de misturas asfálticas: avaliação do desempenho conforme critério de flow number de misturas quentes e mornas*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.
- BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L. M. G.; CERATTI, J. A. P.; SOARES, J.B. (2007) *Pavimentação Asfáltica: Formação básica para engenheiros*. Rio de Janeiro: Petrobrás: ABEDA.
- CELAYA, B. J.; HADDOCK J. E. (2006) *Investigation of Coarse Aggregate Strength for Use in Stone Matrix Asphalt*. Final Report. FHWA/IN/JTRP. Purdue University, West Lafayette-IN, p. 73.
- D'ANGELO, J.; HARM, E.; BARTOSZEK, J.; BAUMGARDNER, G.; CORRIGAN, M.; COWSERT, J.; HARMAN, T.; JAMSHIDI, M.; JONES, W.; NEWCOMB, D.; PROWELL, B.; SINES, R.; YEATON, B. (2008) *Warm-mix asphalt: European practice*. International Technology Scanning Program. Federal Highway Administration. Virginia.
- DER-ET-DE-P00/031, (2007) *Especificação Técnica: Concreto Asfáltico tipo SMA*. Departamento de Estradas de Rodagem de São Paulo. São Paulo.
- DNER (1994) *ME 089 – Agregados – Avaliação da durabilidade pelo emprego de soluções de sulfato de sódio ou magnésio*. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Rio de Janeiro.
- ENGELKE, D. C.; KLAGENBERG, K. E.; JOHNSTON, M. G.; BRITO, L. A. T.; CERATTI, J. A. P.; RIBEIRO, R. Z. (2016) Análise dos benefícios das misturas asfálticas mornas com aditivo surfactante líquido. *Revista Fundações & Obras Geotécnicas*, ano 7, n. 72, p. 48-52.
- INGEVITY; LAPAV (2015) *Desempenho das misturas asfálticas mornas utilizando a tecnologia Evotherm® com e sem o uso do compactador giratório*. Relatório Final Ago 2013 – Ago 2015. Ingevity Specialty Chemicals. Laboratório de Pavimentação da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.

- MENSCH, N. G. (2017) *Análise viscoelástica de misturas asfálticas quentes e mornas*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.
- MOCELIN, D. M. (2015) *Avaliação da trabalhabilidade de misturas asfálticas mornas com emprego de aditivo surfactante*. Trabalho de conclusão de graduação. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.
- MOURÃO, F. A. L. (2003) *Misturas Asfálticas de alto desempenho tipo SMA*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro.
- NAPA (2007) *Diseño y Fabricación – Mezclas SMA: Técnicas Prácticas*. Traducida por la Asociación Mexicana del Asfalto. National Asphalt Pavement Association. Mexico.
- NEVES FILHO, C. L. D. (2004) *Avaliação Laboratorial de misturas asfálticas SMA produzidas com ligante asfalto-borracha*. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos.
- PROWELL, B., D.; HURLEY, G. C.; FRANK, B. (2012) *Warm-mix asphalt: best practices*. 3ª ed. Lanham: National Asphalt Pavement Association.
- SILVA, P. B. (2005) *Estudo em laboratório e em campo de misturas asfálticas SMA 0/8S*. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Transportes. São Paulo.
- REIS, R. M. M. (2002) *Revestimento asfáltico tipo SMA para alto desempenho em vias de tráfego pesado*. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Transportes. São Paulo.

Douglas Cardoso Engelke (douglasengelke1994@gmail.com)

Camila Kern (camilakern@yahoo.com.br)

Gracieli Bordin Colpo (gracieli.colpo@ufrgs.br)

Marlova Grazziotin Johnston (marlova.johnston@ufrgs.br)

Jorge Augusto Pereira Ceratti (jorge.ceratti@ufrgs.br)

Renan Zocal (renan.ribeiro@ingevity.com)

Laboratório de Pavimentação, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – Construção e Infraestrutura
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS.