

FORMULAÇÃO VOLUMÉTRICA E DESEMPENHO DE MISTURAS BETUMINOSAS STONE MASTIC ASPHALT

Dinis Gardete¹, Luís Picado Santos², Silvino Capitão³

Resumo

As misturas SMA (Stone Mastic Asphalt) foram desenvolvidas na Alemanha na década de 1960. A sua resistência à deformação permanente e durabilidade levaram a que a sua utilização como camada de desgaste se difundisse primeiro na Europa e depois nos EUA, aqui na década de 1990. Estas misturas apresentam uma granulometria descontínua com a utilização de percentagens em betume elevadas quando comparadas com misturas betuminosas densas ou abertas. Por esse motivo é necessária a utilização de um aditivo para fixar o betume. Devido a estas características particulares a formulação de misturas SMA na Europa tem por base metodologias do tipo “receita”. O objectivo deste trabalho passa por procurar relacionar as características das misturas SMA e o seu desempenho de modo a se poder incluir na formulação parâmetros volumétricos. Deste modo, foram formuladas misturas SMA de acordo com a norma EN 13108-5 utilizando metodologias de formulação corrente, com a percentagem óptima de betume definida através da porosidade em provetes Marshall e utilizando a formulação volumétrica SUPERPAVE, com a percentagem óptima em betume a ser definida em provetes obtidos por compactação giratória. As misturas foram realizadas utilizando agregado granítico, betume asfáltico 35/50 e fibras celulósicas. Para as misturas determinaram-se os diferentes valores dos parâmetros volumétricos com interesse para o seu comportamento. A análise dos valores obtidos indica que a formulação volumétrica das misturas SMA, utilizando o compactador giratório, apresenta-se como uma alternativa à utilização de provetes com compactação Marshall. Os valores obtidos para um N_{design} de 50 giros foram próximos dos obtidos pela formulação tradicional.

Abstract

The SMA (Stone Mastic Asphalt) mixtures were developed in Germany in the 1960s. Their resistance to rutting and high durability has made their use spread first in Europe and, from the 1990's, also in the USA. These mixtures have a gap graded gradation and high percentages of bitumen, when compared to typical dense asphalt concrete. For this reason it is necessary to use an additive to avoid the drainage of the binder. Because of these unique characteristics the design of SMA mixtures in Europe is done using recipe methods. The aim of this work is to correlate the volumetric properties of SMA mixtures and their performance in order to include volumetric parameters in the mix design process. Thus, SMA mixtures were formulated according to EN 13108-5 using current design methodologies. The mixtures were produced using granite aggregate, bitumen 35/50 (penetration grade) and cellulose fibers, as a stabilizer. The optimum content of bitumen was determined based on the porosity of Marshall compacted specimens and by the SUPERPAVE volumetric design method. The volumetric properties of the SMA mixtures were determined, specifically those that most influence their mechanical behavior. The values obtained show that the volumetric formulation of SMA mixtures using the gyratory compactor is an alternative to specimens with Marshall compaction. The values obtained for an N_{design} of 50 gyrations are close to those obtained by the traditional formulation.

1. Introdução

As misturas SMA (Stone Mastic Asphalt) foram desenvolvidas na Alemanha na década de 1960. As misturas SMA forneciam uma camada de desgaste com maior resistência aos pneus de Inverno. Os pneus de Inverno utilizados na época tinham pitons em aço pelo que eram muito agressivos para o pavimento. Apesar do uso destes pneus ter sido proibido na Alemanha em 1975, a utilização do SMA manteve-se, apresentado a sua utilização uma difusão crescente. Nos EUA foram adoptadas após uma visita patrocinada por diversas instituições ligadas à construção e gestão de pavimentos em 1990 denominada European Asphalt Study Tour of 1990 tendo sido construídos diversos trechos para ensaio em 1991.

As misturas SMA são caracterizadas por apresentarem uma granulometria marcadamente descontínua com uma percentagem elevada de material da maior dimensão. Esse agregado forma um esqueleto resistente sendo os espaços entre

¹ Mestre, Assistente – Escola Superior de Tecnologia de Castelo Branco

² PHD, Professor Catedrático - CESUR-DECivil, Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa

³ Prof. Coordenador, CESUR/DECivil, Instituto Superior de Engenharia, I. Politécnico de Coimbra

as partículas de maior dimensão preenchidos por mastique composto por betume, agregado fino e fíler. Deste modo é necessária a utilização duma percentagem elevada de betume (geralmente de 7% ou superior). Para reforçar o mastique e evitar a drenagem do betume é necessário utilizarem-se aditivos, sendo um dos mais comuns as fibras celulósicas. A percentagem de fibras de celulose na mistura situa-se geralmente entre 0,3% e 0,4% (percentagem do peso total da mistura). Devido a esta composição particular, as misturas SMA apresentam elevada resistência à deformação permanente e à fadiga, e boa durabilidade. São geralmente utilizadas em camadas superficiais, apresentando valores elevados de macrotextura e bons níveis de atrito em tempo húmido e também podendo contribuir para redução do ruído de tráfego.

Devido a estas particularidades a formulação das misturas SMA tem assente em metodologias do tipo receita. As metodologias incluem especificações com elevados níveis de exigência para os agregados, nomeadamente, para os agregados grossos que formam o esqueleto resistente. No caso da Alemanha, a obtenção da percentagem óptima em betume é determinada através da análise da porosidade em provetes compactados com 50 pancadas por face em compactador Marshall. No entanto, nos EUA os métodos tradicionais, como o método de Marshall foram substituídos pela metodologia SUPERPAVE, desenvolvida na década de 1990, em que a formulação das misturas é realizada através das propriedades volumétricas em provetes obtidos utilizando o compactador giratório. Observa-se que existe alguma dispersão de valores nas especificações relativamente à energia de compactação de formulação a utilizar em misturas SMA. Este trabalho pretende contribuir para a definição dos parâmetros de compactação em misturas SMA para a sua formulação.

2. Materiais Utilizados

Foram utilizados agregados graníticos, nomeadamente uma Brita 4/16 e Pó 0/4. O fíler utilizado foi de natureza calcária. Na Figura 1 apresentam-se as granulometrias dos agregados. O ligante utilizado foi um betume com classe de penetração 35/50 sem modificação. O betume apresentou uma penetração de 42,2 décimas de milímetro e uma temperatura de amolecimento anel e bola de 53,5°C.

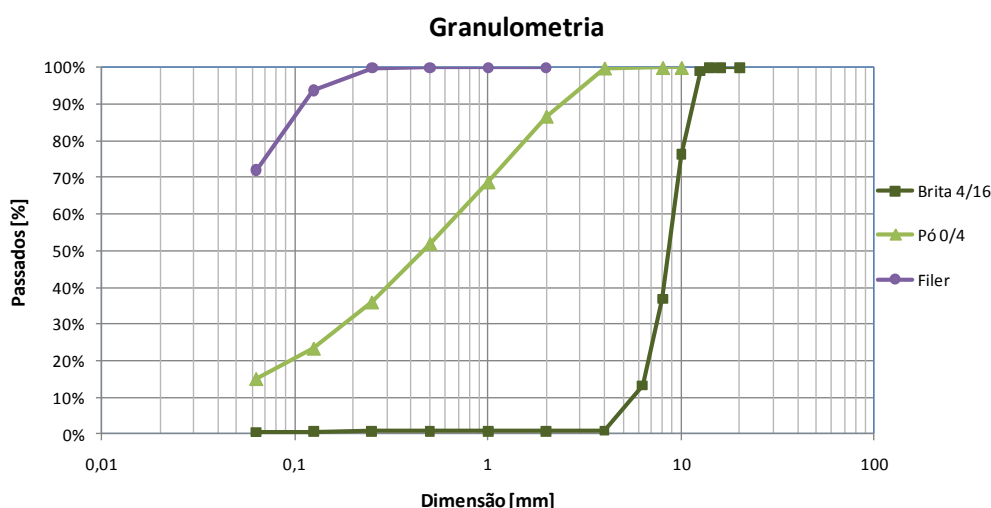


Figura 1. Granulometria das fracções granulométricas utilizadas

Para a curva granulométrica da mistura foi utilizada como referência a EN 13108-5 (CEN, 2006). A granulometria obtida para a mistura e os limites definidos na EN 13108-5 para o SMA 12,5 encontram-se na Figura 2. Pode observar-se que a curva obtida cumpre os pontos de controlo (1,4 D, D, 2 mm e 0,063 mm), mas se for traçada a envolvente a curva obtida encontra-se fora dos limites. A causa principal para este facto resulta de a EN 13108-5 considerar, independentemente da dimensão máxima do agregado, a dimensão de 2 mm como o ponto de controlo. Deste modo, ao traçar-se a envolvente, a dimensão de 2 mm torna-se o ponto de quebra da curva. Na formulação adoptada, e atendendo às fracções granulométricas utilizadas que no caso foi uma brita 4/16, o ponto de quebra ocorre nos 4 mm. Observa-se que existem especificações em que para misturas SMA 12,5 mm é comum considerar-se o ponto de quebra das curvas na dimensão 4,75 mm (AASHTO M-325, 2008). As misturas apresentam deste modo um maior conteúdo de agregado de maior dimensão e uma granulometria mais aberta. No entanto, quando comparada com fusos granulométricos utilizados a nível europeu ou mesmos nos EUA, observa-se que a granulometria utilizada se enquadra dentro destes. Como exemplo apresenta-se na Figura 3 a comparação entre a curva granulométrica utilizada e os fusos granulométricos definidos no projecto NCHRP 9-8 (Prowell et al., 2009), na Suécia (EAPA, 1998) e na Alemanha (Drüschner e Schäfer, 2000). Embora os pontos de controlo indicados na EN 13108-5 se adequem aos fusos referidos, o facto de serem relativamente esparsos, recorrendo a 4 pontos, faz com que o cumprimento do fuso indicado possa não ser o suficiente para se obter uma mistura

SMA com a estrutura necessária (Abreu e Picado-Santos, 2009). Será de esperar que sejam incluídos anexos nacionais na norma que possam colmatar esse facto.

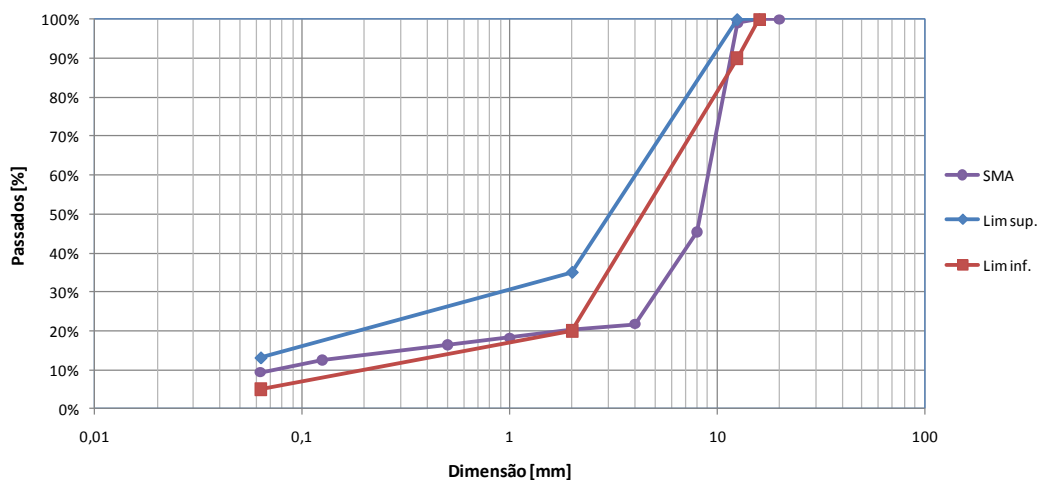


Figura 2. Granulometria da mistura SMA 12,5 utilizada em comparação com os limites definidos na EN 13108-5

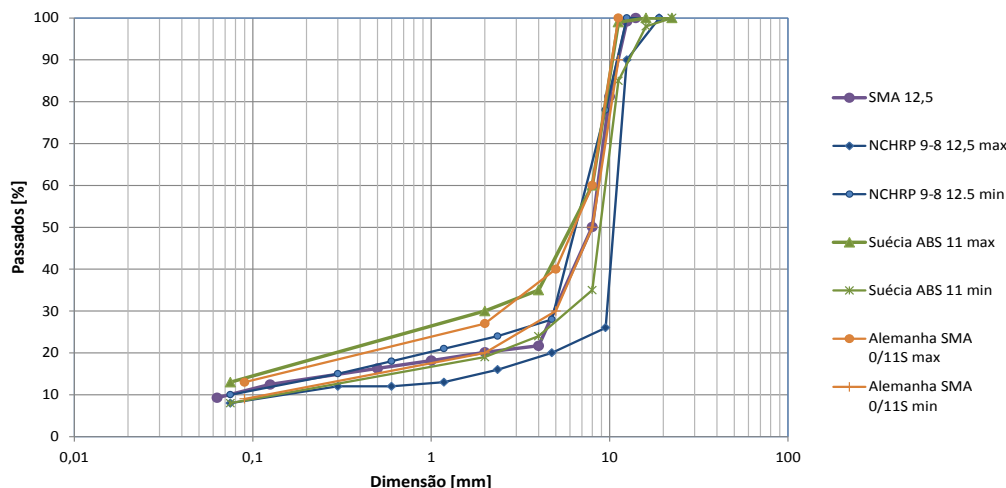


Figura 3. Comparação da granulometria usada na mistura SMA 12,5 com especificações do programa NCHRP 9-8, Suécia e Alemanha

Utilizaram-se fibras celulósicas VIATOP da JRS (JRS@, 2011) como aditivo para estabilizar o betume e evitar o seu escorrimento. A percentagem em fibras do peso total da mistura que se utilizou foi de 0,3%. As fibras são fornecidas em granulado constituído por fibras misturadas com betume, em que o peso de betume pode atingir cerca de 10% do total do granulado. Para compensar este facto, a percentagem de incorporação de granulado foi de 0,33%. Na produção em central é adicionado o granulado aos agregados. O calor e a acção mecânica da mistura faz com que o granulado se desagregue e as fibras se dispersem na mistura. Como em laboratório a acção de mistura tende a ser menos enérgica, o granulado foi seco em estufa a 105°C e depois foi desagregado manualmente antes de o adicionar. Na amassadura em laboratório as fibras foram misturadas primeiro a seco com o agregado e depois foi adicionado o betume.

3. Formulação Marshall

3.1. Procedimento Laboratorial

Este é o método mais utilizado na formulação de misturas a quente em Portugal. Neste método utilizam-se provetes cilíndricos com um diâmetro de 101,6 mm e 63,5 mm de altura compactados por impactos sucessivos. O número de pancadas é função do tráfego que se estima vir a solicitar o pavimento durante a sua vida útil e varia geralmente entre as 35 e as 75 por face do provete. Em Portugal para as misturas tradicionais são utilizadas 75 pancadas por face (EP, 2009).

As misturas SMA são em geral formuladas por métodos do tipo receita nos quais a percentagem de betume a utilizar na produção da mistura é determinada pela análise da porosidade em provetes Marshall. Este é o método utilizado

na Alemanha e foi o adoptado neste trabalho (Drüschner e Schäfer, 2000). De acordo com este procedimento são compactados provetes Marshall com 50 pancadas por face (menos 25 do que no caso de misturas usadas tradicionalmente em Portugal), determinando-se a sua porosidade. Para o fabrico dos provetes utilizaram-se temperaturas de mistura e de compactação de 155°C e 145°C, respectivamente. De acordo com a EN 12697-6 (IPQ, 2003) a determinação da baridade deve ser realizada com selagem dos provetes no caso de misturas SMA com porosidades superiores a 4%. Deste modo, procedeu-se à selagem dos provetes com parafina para determinação da baridade dos mesmos. Os provetes foram mergulhados em parafina líquida, mantida a uma temperatura de 60°C (a temperatura deve ser inferior ao ponto de fusão mais 10°C). Isto permite criar uma película de parafina que sela os provetes impedindo a entrada de água para os poros do provete que tenham ligação com a sua superfície, o que resulta numa melhor avaliação do volume aparente da amostra de mistura betuminosa. Uma vez que se fabricaram provetes Marshall, optou-se por realizar todo o processo de formulação Marshall para observar os resultados obtidos. Assim, os provetes da mistura SMA 12,5 foram ensaiados no estabilómetro de Marshall determinando-se a sua estabilidade e deformação. Na Figura 4 são apresentados os resultados do método, nomeadamente, a variação com a percentagem em betume da baridade, da estabilidade Marshall, da deformação Marshall, da porosidade, do volume de vazios no esqueleto de agregado (VMA) e da percentagem de vazios preenchidos por betume (VFB).

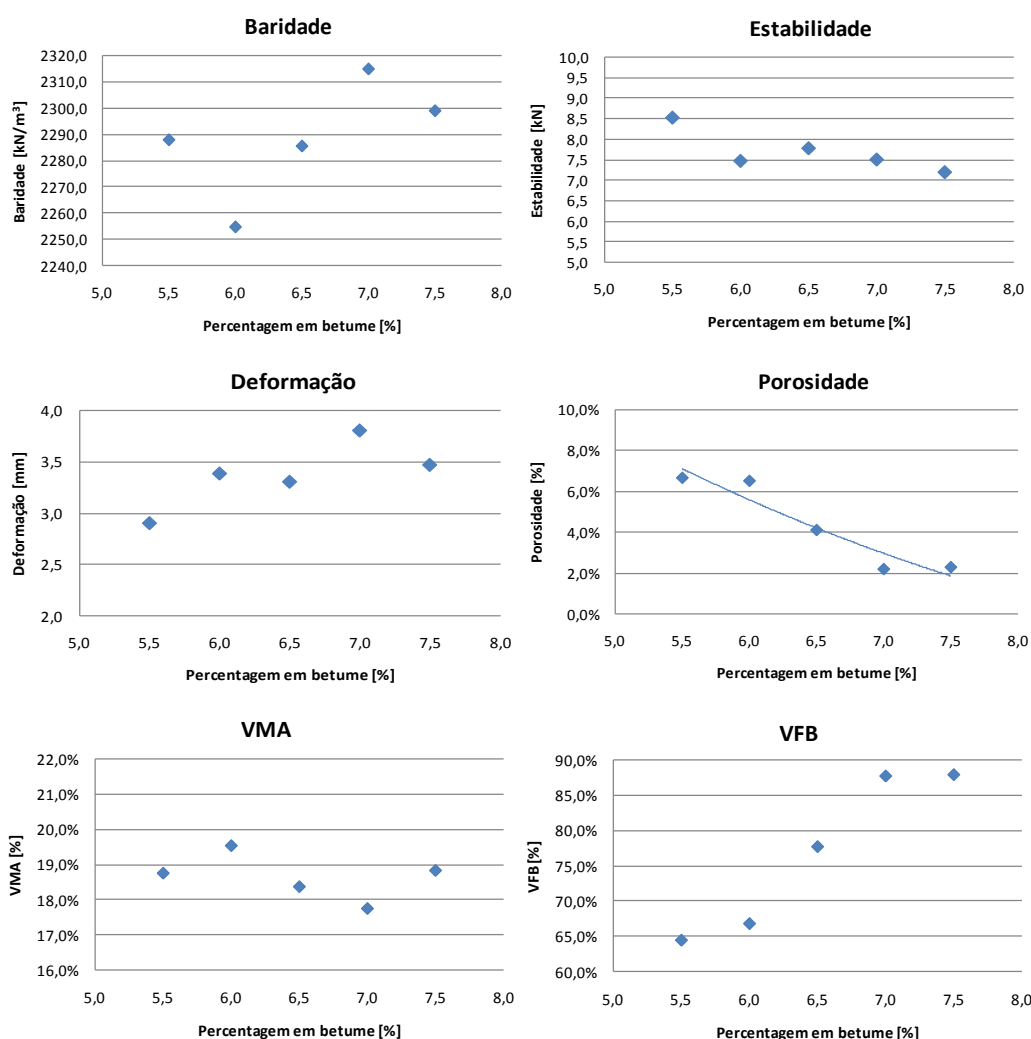


Figura 4. Resultados obtidos com provetes Marshall

3.2. Ensaio de Schellenberg

A formulação do SMA requer que se realize a análise à drenagem do betume. Este ensaio destina-se a observar se a quantidade de aditivo, neste caso fibras celulósicas, é suficiente para evitar o escorrimento do betume. Este fenómeno ocorre durante o armazenamento a quente ou durante o transporte, e pode levar a que partes da mistura fiquem com excesso de betume. Deste modo, podem ocorrer zonas de reduzida macrotextura à superfície do pavimento. O ensaio utilizado para avaliar o escorrimento do betume foi o ensaio Schellenberg. A EN 12697-18 (CEN, 2004) indica este ensaio como apropriado para tal em misturas que contenham fibras como aditivo estabilizador.

O ensaio é geralmente realizado a uma temperatura 25°C superior à temperatura escolhida para a mistura. Deste modo, o ensaio de Schellenberg foi realizado para a percentagem de betume de 6,5% e a uma temperatura de 180°C. O

resultado obtido foi de um valor de escorrimento de 0,28%, que ainda se encontra dentro do admissível (conforme indicado na Tabela 2, onde a designação do indicador é "Drenagem máxima").

3.3. Análise de Resultados

Na Alemanha é recomendada a utilização de uma percentagem em betume mínima de 6,5% para misturas SMA do tipo 0/11S. A porosidade em provetes Marshall recomendada para a selecção da percentagem óptima de betume deve variar entre 3,0% e 4,0% (Drüschner e Schäfer, 2000). Assim, atendendo ao gráfico que representa a variação da porosidade pode observar-se que a gama de porosidades referida fornece valores para a percentagem em betume entre 6,5% e 7,0%. Optou-se por considerar para a porosidade de formulação o valor de 4%, pelo qual a percentagem óptima em betume obtida foi de 6,5%.

Observa-se que a formulação Marshall corrente não se adapta às misturas SMA. É referido com frequência a obtenção de valores da estabilidade Marshall baixos o que pode levar a considerar, incorrectamente, que estas misturas apresentam baixa resistência à deformação (Drüschner e Schäfer, 2000). Os resultados obtidos para a estabilidade encontram-se entre os 7,0 e os 8,5 kN, valores correspondentes ao limiar inferior dos intervalos geralmente definidos como aceitáveis para misturas tradicionais. Devido às percentagens em betume serem elevadas observa-se uma diminuição constante do valor da estabilidade com o aumento da percentagem em betume. As deformações obtidas são em geral baixas estando abaixo dos 4,0 mm, o que pode indiciar a obtenção de um esqueleto do agregado com um bom imbricamento. Observa-se igualmente uma tendência de aumento das deformações e do VFB com a percentagem em betume, como esperado. O andamento da baridade e do VMA com a percentagem em betume mostraram-se algo erráticos, sendo que para este último parâmetro se obtiveram valores bastante elevados como seria de esperar. Na Tabela 1 apresenta-se as propriedades obtidas para a mistura formulada para 4% de porosidade (50 pancadas/face). Na Tabela 2 apresenta-se a comparação dos valores obtidos com valores definidos em especificações existentes, nomeadamente, a ZTV-Asphalt StB 01 (Drüschner e Schäfer, 2000), a DER-SP ET-DE-P00/031 (DER-SP, 2007) e a AASHTO M 325-08 (AASHTO, 2008).

Tabela 1. Propriedades da mistura SMA 12,5 resultante da formulação com provetes Marshall

Mistura	Percentagem em betume [%]	Porosidade [%]	Estabilidade Marshall [kN]	Deformação Marshall [mm]	VMA [%]	Quociente Marshall [kN/mm]	VFB [%]
SMA 12,5	6,5	4,0	7,8	3,3	18,3	2,4	78

Tabela 2. Comparação das propriedades obtidas com valores estabelecidos em especificações

Propriedade	Limites para o SMA 0/11S definidos na ZTV-Asphalt StB 2001	Limites definidos na DER-SP ET-DE-P00/031	Limites definidos na AASHTO M 325-08	Valores obtidos para a mistura SMA 12,5
Percentagem Mínima de betume [%]	6,5		6,0	6,5
Percentagem de aditivos [%]	0,3 - 1,5	0,3 - 1,5**	≥0,3***	0,3
Porosidade* [%]	3,0 - 4,0	4,0	4,0****	4,0
VMA [%]	---	≥17	≥17	18,3
Drenagem máxima [%]	---	0,3	0,3	0,28

* Em provetes Marshall compactados com 50 pancadas/face

** - O aditivo referido é explicitamente fibras celulósicas

*** - No caso de fibras minerais é recomendado um mínimo de 0,4%

**** - Em estradas com tráfego leve pode utilizar-se 3% de porosidade

4. Formulação SUPERPAVE

A metodologia de formulação volumétrica SUPERPAVE obtém a percentagem óptima em betume a utilizar na mistura betuminosa através da análise das propriedades volumétricas de provetes compactados no compactador giratório. O controlo da energia de compactação é realizado pelo número de giros, sendo que a percentagem óptima em betume é determinada como aquela em que se obtém uma determinada porosidade alvo para o número de giros definidos para formulação. O número de giros de formulação, N_{design} , é definido como aquele que simula a compactação previsível na mistura após o seu período de vida útil, isto é, após ter sido submetida ao processo de construção e ao tráfego previsto para o pavimento.

Em 1994 uma Task Force da FHWA, em conjunto com as administrações estaduais, publicou orientações para formulação de misturas SMA, as “Guidelines for Materials, Production, and Placement of Stone Matrix Asphalt (SMA)”. Estas recomendavam a formulação do SMA através do método de Marshall utilizando provetes compactados com 50 pancadas/face. Em 1999 estas orientações foram revistas na publicação “Designing and Constructing SMA Mixtures – State-of-the-Practice” da NAPA onde paralelamente à formulação com o método de Marshall foi incluída a formulação volumétrica com um nível de compactação de 100 giros no compactador giratório. Estudos posteriores, conduzidos essencialmente pelas administrações rodoviárias estaduais do Texas e da Geórgia, indicaram que um nível de compactação de 100 rotações era excessivo pois conduzia a valores de percentagens óptimas em betume inferiores ao desejado, recomendando a utilização de valores entre as 50 e as 75 rotações para N_{design} (Xie, 2006). Embora o valor de energia de compactação mais comum nas administrações de transportes estaduais dos EUA seja de 50 giros para este tipo de misturas, os valores utilizados variam entre 50 e 100 (no Canadá algumas administrações estaduais utilizam mesmo valores iguais aos das misturas densas). Alguns estudos realizados com misturas SMA indicam que a percentagem óptima de betume obtida com 50 pancadas/face nos provetes Marshall corresponde sensivelmente à obtida com 35 giros no compactador giratório (West e Moore, 2006).

4.1. Procedimento Laboratorial

A produção da mistura betuminosa foi semelhante ao realizado para os provetes Marshall (considerando a diferença de quantidade). A temperatura de mistura foi de 155°C. Após a produção colocou-se a mistura betuminosa em estufa durante 2 horas à temperatura seleccionada para a compactação, que foi de 145°C, de acordo com o procedimento de envelhecimento de curto prazo definido na AASHTO R30 (AASHTO, 2002). A mistura foi remexida passados 60 minutos para assegurar uma maior homogeneidade da temperatura. A compactação foi realizada de acordo com a AASHTO T312 (AASHTO, 2004) e a EN 12697-31 (CEN, 2007). A pressão de compactação foi de 600 kPa, o ângulo dinâmico interno foi de 1,16° (AID) e a velocidade de rotação de 30 r.p.m. Os provetes foram compactados com 150 mm de diâmetro e aproximadamente 115 mm em altura.

Optou-se por utilizar uma energia de compactação de 50 ciclos observando-se os resultados obtidos. A escolha da percentagem óptima em betume foi realizada como aquela que obtém uma porosidade de 4,0% para a energia de compactação escolhida.

Como realizado para os provetes Marshall também se selaram com parafina os provetes obtidos por compactação giratória para efeitos de medição das baridades. A selagem dos provetes revelou-se mais difícil que no caso dos provetes Marshall devido à sua maior dimensão. Ainda assim, os resultados foram satisfatórios, tendo-se seguido um procedimento de aplicação da parafina semelhante ao utilizado para os provetes Marshall, isto é, a imersão foi realizada na altura do provete e com duas imersões por face efectuadas alternadamente.

4.2. Análise de Resultados

Os resultados obtidos na formulação volumétrica são apresentados na Figura 5. O compactador giratório permite determinar a evolução da porosidade na compactação em função da variação da altura do provete, podendo inferir-se as percentagens óptimas em betume que seriam obtidas considerando diferentes valores de N_{design} . Este processo induz erros na determinação da porosidade estimada, nomeadamente em misturas do tipo SMA (Mallick et al., 1998). No entanto, devido ao facto de se estar a realizar este procedimento entre valores próximos do número de giros correspondente a N_{design} , considera-se que os valores estimados serão semelhantes aos valores que seriam medidos pelo que os erros provenientes desta abordagem não são significativos. Apresentam-se na Figura 6 a evolução dos valores da porosidade com o número de ciclos para as percentagens em betume ensaiadas. Pode observar-se que para um N_{design} de 50 giros o valor da percentagem óptima em betume é de 6,6%. Este valor é superior ao obtido na formulação com provetes Marshall. Fazendo uma comparação dos resultados das duas metodologias, para esta mistura e condições utilizadas, pode concluir-se que os resultados obtidos para o método de Marshall corresponderiam a um valor um pouco superior a 50 giros no compactador giratório. Na Figura 7 apresenta-se a evolução do VMA e do VFB com o número de ciclos para as percentagens em betume utilizadas. Na Tabela 3 apresentam-se os valores obtidos considerando níveis de N_{design} de 45 e 50 ciclos. Para valores de 40 giros ou inferiores não se atingiu os 4,0% de porosidade, pelo que estas energias de compactação não seriam adequadas para a formulação da mistura.

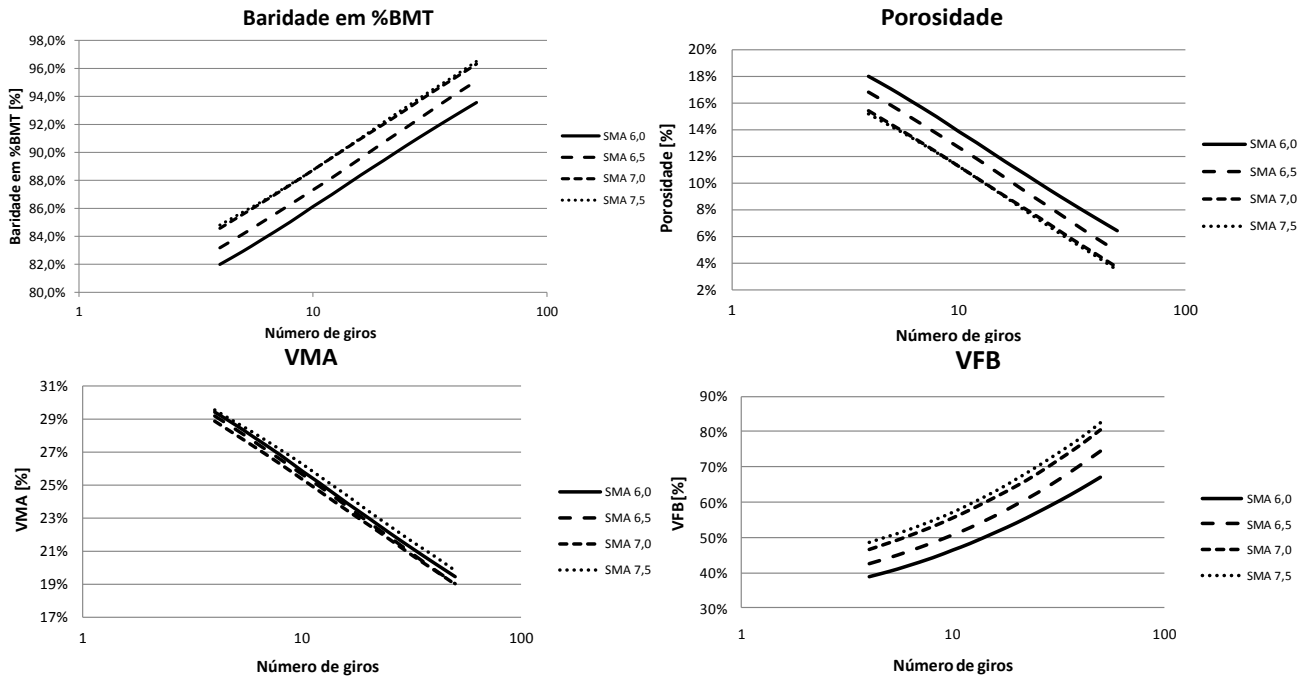


Figura 5. Resultados obtidos na formulação volumétrica

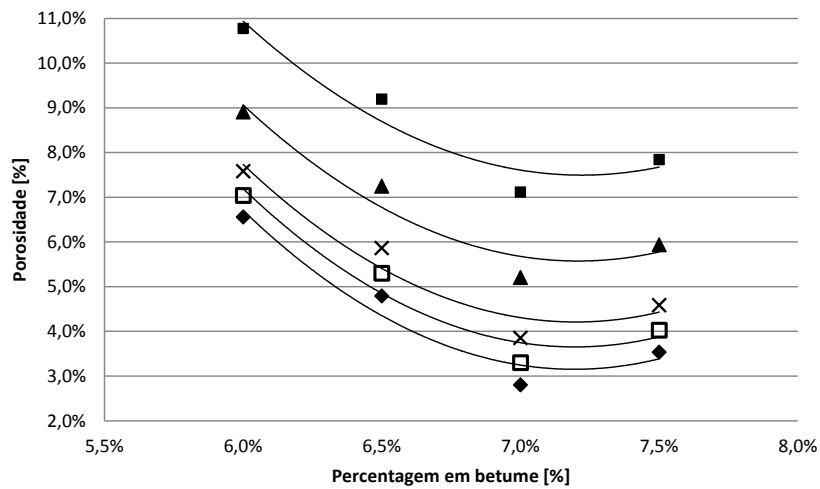


Figura 6. Variação da porosidade com a percentagem em betume e o número de ciclos

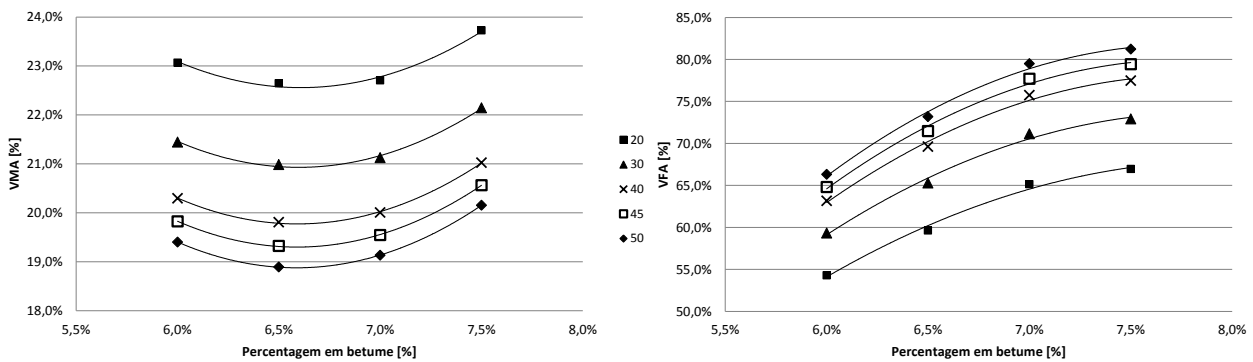


Figura 7. Evolução do VMA e do VFB com a percentagem em betume e o número de ciclos

Tabela 3. Propriedades da mistura SMA 12,5 resultante da formulação volumétrica

N_{design}	Percentagem em betume [%]	Porosidade [%]	VMA [%]	VFB [%]
45	6,8	4,0	19,9	75,4
50	6,6	4,0	18,9	75,0

5. Conclusões e Trabalho Futuro

Observou-se que existe uma similaridade entre a percentagem óptima em betume obtida com o método indicado nas especificações alemãs, utilizando provetes Marshall compactados com 50 pancadas por face, e a formulação volumétrica utilizando uma compactação de 50 giros no compactador giratório. Em ambas as formulações as misturas obtidas apresentam valores para as suas propriedades volumétricas dentro do geralmente esperado para misturas SMA.

A norma europeia que contém os princípios orientadores para as misturas SMA, a EN 13108-5, apresenta 4 pontos de controlo para definir a curva granulométrica. Estes pontos, embora enquadrem a granulometria dentro das especificações existentes em diversos países são insuficientes para definir um fuso que possa garantir a obtenção de uma granulometria suficientemente aberta. Deste modo a inclusão de anexos nacionais que possam complementar os pontos de controlo definidos na norma revela-se como fundamental, principalmente em países com pouca tradição na utilização de misturas SMA, como seja, Portugal.

Apesar da percentagem em betume obtida na formulação utilizando provetes Marshall ser de 6,5%, o que corresponde ao mínimo aconselhado, o ensaio de drenagem do betume forneceu um valor de escorrimento perto do máximo admissível. Seria necessário um aumento da quantidade de fibras utilizadas para melhorar esta propriedade das misturas, nomeadamente no caso da formulação volumétrica.

Futuramente, pretende-se analisar o desempenho das misturas SMA para diferentes percentagens em betume, nomeadamente, em relação à deformação permanente, à fadiga, à sensibilidade à água e ao módulo de rigidez. Com estes resultados poder-se-á dar um contributo para que a formulação de misturas SMA possa incluir características de desempenho.

6. Referências

- AASHTO Standard Method of Test for Preparing and Determining the Density of Hot-Mix Asphalt (HMA) Specimens by Means of the Superpave Gyratory Compactor. *AASHTO standard T 312*. American Association of State Highway and Transportation Officials, 2004.
- AASHTO Standard Practice for Mixture Conditioning of Hot-Mix Asphalt (HMA). *AASHTO standard R-30*. American Association of State Highway and Transportation Officials, 2002.
- AASHTO Standard Specification for Stone Matrix Asphalt (SMA). *AASHTO standard M-325*. American Association of State Highway and Transportation Officials, 2008.
- ABREU, C., PICADO-SANTOS, L. Contribuição para o uso de “Stone Mastic Asphalt” na Tecnologia Portuguesa. *Actas do XV Congresso Ibero-Latinoamericano do Asfalto*, Lisboa (Portugal), vol. 1, pp. 559-568, 2009.
- CEN Bituminous Mixtures - Test Methods for Hot Mix Asphalt - Part 18: Binder drainage. *EN 12697-18*, European Committee For Standardization, 2004.
- CEN Bituminous Mixtures - Test Methods For Hot Mix Asphalt - Part 31: Specimen Preparation By Gyratory Compactor. *EN 12697-31*, European Committee For Standardization, 2007.
- CEN Bituminous mixtures – Material Specifications – Part 5: Stone Mastic Asphalt. *EN 13108-5*, European Committee For Standardization, 2006.
- DER-SP Concreto Asfáltico Tipo SMA. *ET-DE-P00-031*, Departamento de Estradas de Rodagem, São Paulo, 2007.
- DRÜSCHNER, L., SCHÄFER, V. *Stone Mastic Asphalt*, German Asphalt Association, 2000.
- EAPA *Heavy Duty Surfaces – The Arguments for SMA*, European Asphalt Pavement Association, 1998.
- EP *Caderno de Encargos Tipo Obra*, Estradas de Portugal, 2009.
- IPQ Misturas Betuminosas - Métodos de ensaio para misturas betuminosas a quente - Parte 6: Determinação da baridade de provetes betuminosos. *NP EN 12697-6*, Instituto Português da Qualidade, 2003.
- JRS@. <http://www.jrs.de/wEnglisch/produkte/viatop.shtml>. JRS webpage, 2011.
- MALLICK, R., BUCHANAN, S., BROWN, E., HUNER, M. An Evaluation of Superpave Gyratory Compaction of Hot Mix Asphalt. *NCAT Report No. 98-5*, National Center for Asphalt Technology, 1998.

- PROWELL, B, WATSON D., HURLEY G., BROWN, E. Evaluation of Stone Matrix Asphalt (SMA) for Airfields Pavements. *AAPTP 04-04 Final Report*, National Center for Asphalt Technology, Auburn University, 2009.
- XIE, H., WATSON, D., BROWN, R. Evaluation of Two Compaction Levels for Designing Stone Matrix Asphalt, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, Transportation Research Board of the National Academies, n.º 1929, p. 149-156, 2005.
- WEST, R., MOORE, J. Evaluating Georgia's DOT's Compaction Requirements for Stone Matrix Asphalt Mixtures. *Report FHWA-GA-06-2036* National Center for Asphalt Technology, 2006.