

FORMULAÇÃO VOLUMÉTRICA DE MISTURAS BETUMINOSAS – ANÁLISE DOS NÍVEIS DE COMPACTAÇÃO PARA FORMULAÇÃO DE UM AC 20 E DE UM SMA

Dinis Gardete¹, Luís Picado Santos² e Silvino Capitão³

¹Escola Superior de Tecnologia de Castelo Branco, Departamento de Eng.ª Civil, Av. Do Empresário, 6000-767 Castelo Branco, Portugal

email: dgardete@ipcb.pt <http://www.ipcb.pt>

² DECivil, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Av. Rovisco Pais, 1049-001 Lisboa, Portugal

³ IPC–Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Departamento de Eng.ª Civil, Rua Pedro Nunes – Quinta da Nora, 3030-199 Coimbra, Portugal

Sumário

Neste trabalho utilizaram-se metodologias tradicionais e a metodologia volumétrica na formulação de uma mistura tradicional, do tipo AC 20 base 35/50 (MB), e de uma mistura do tipo Stone Mastic Asphalt (SMA). Determinou-se a evolução das propriedades das misturas com o número de giros e determinou-se a percentagem ótima em betume para diversos níveis de compactação. A trabalhabilidade das misturas foi avaliada através de parâmetros relacionados com a curva de compactação. Do trabalho realizado foi possível determinar o intervalo de valores do N_{design} adequado à formulação e os índices que melhor permitem avaliar a trabalhabilidade das misturas betuminosas estudadas.

Palavras-chave: Misturas betuminosas; Formulação; SUPERPAVE; trabalhabilidade.

1 INTRODUÇÃO

A introdução de ensaios de desempenho para avaliar a resistência à deformação permanente e à fadiga, e a sensibilidade à água (ITSR) têm permitido melhorar o processo de formulação de misturas betuminosas. Contudo, a seleção da percentagem ótima em betume é realizada utilizando geralmente o método de Marshall. Este assenta na utilização de um ensaio empírico apresentando algumas limitações na análise de misturas não tradicionais. A utilização de ensaios de desempenho na melhoria do processo de formulação encontra-se restringida pela limitada experiência existente na sua utilização [1,2]. Mesmo com a utilização de ensaios de desempenho, há vantagens na utilização de um método simples para a seleção da percentagem em betume que permita de um modo eficaz adequar as propriedades das misturas às suas condições de serviço. Deste modo, com uma melhor seleção da percentagem em betume, num primeiro momento, seria possível poupar tempo e recursos na fase de análise do desempenho.

Uma das alternativas ao método de Marshall é a metodologia de formulação volumétrica SUPERPAVE, desenvolvida no programa *Strategic Highway Research Program* (SHRP). Nesta metodologia o procedimento de seleção da percentagem ótima em betume é realizado com base nas propriedades volumétricas de provetes compactados com o compactador giratório. A percentagem ótima em betume dependerá da energia de compactação utilizada, sendo esta fornecida pelo número de giros a que o provete foi submetido. Deste modo, a energia de compactação é um parâmetro fundamental na metodologia [3]. Desde as especificações originais que os níveis de compactação recomendados têm vindo a ser reduzidos. De facto, alguns estudos indicavam que aqueles níveis de compactação resultavam em porosidades inferiores às de obra, e que as percentagens ótimas em betume eram inferiores às obtidas com o método de Marshall, levando à utilização de misturas com maior resistência à deformação permanente mas com menor resistência à fadiga e durabilidade. Os níveis de compactação para formulação de misturas betuminosas densas foram reduzidos para valores na ordem dos 80 a

100 giros o que, segundo alguns, autores permite obter um maior equilíbrio nas propriedades, nomeadamente na resistência à deformação permanente e à fadiga [4].

Neste trabalho foi realizada a formulação volumétrica de acordo com os procedimentos representativos da metodologia SUPERPAVE em duas misturas betuminosas. Um AC 20 (MB), que é uma mistura betuminosa de grande utilização em Portugal em camadas de base, ligação e regularização. A outra mistura utilizada foi do tipo *Stone Mastic Asphalt*, um SMA 12,5, utilizada em camadas de desgaste. Um dos objetivos foi analisar o intervalo de valores que pode ser adequado à formulação deste tipo de misturas, de modo a obter propriedades volumétricas semelhantes às obtidas com os métodos de formulação correntemente utilizados que foram tomados como referência. Teve-se ainda como objetivo avaliar a trabalhabilidade das misturas com base em parâmetros obtidos a partir dos procedimentos de compactação na prensa giratória.

2 MISTURAS BETUMINOSAS UTILIZADAS

Neste trabalho foram utilizadas duas misturas betuminosas. Uma mistura densa tradicional AC 20 (MB), de larga utilização em Portugal, aplicada em camadas de base, ligação e regularização, e uma mistura SMA 12,5 que é uma mistura de granulometria descontínua utilizada em camadas de desgaste [5]. As misturas foram realizadas com agregado granítico. O betume utilizado foi da classe 35/50, com uma penetração a 25°C de 42,2 mm/10 e uma temperatura de amolecimento de 53,5°C.

A granulometria da mistura AC 20 (MB) foi definida de acordo com as indicações do Caderno de Encargo Tipo Obra da Estradas de Portugal, SA [6]. Para a mistura SMA 12,5 utilizaram-se as indicações da norma EN 13108-5 [7], da autoridade rodoviária alemã [8] e do projeto NCHRP 9-8 [9]. As curvas granulométricas das misturas encontram-se na Fig. 1. De referir que a mistura SMA cumpre os requisitos granulométricos indicados na EN 13108-5 para poder ser denominada SMA 11 ou SMA 12,5. Optou-se por esta última designação pois a granulometria encontra-se melhor enquadrada dentro do fuso granulométrico referido no projeto NCHRP 9-8 para o SMA 12,5.

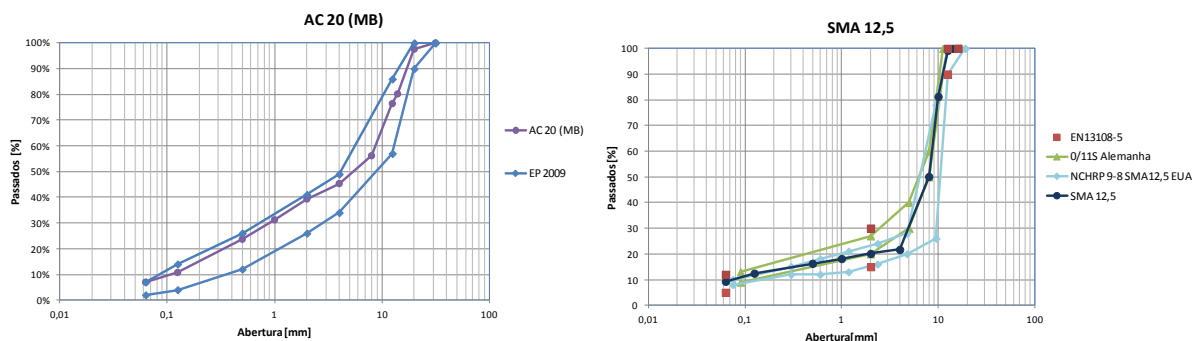


Fig. 1. Granulometria das misturas AC 20 (MB) e SMA 12,5

As misturas SMA possuem granulometria descontínua e uma percentagem em betume superior às misturas betuminosas tradicionais, necessitando de aditivos para evitar a drenagem do betume [5, 8]. Neste trabalho utilizou-se como aditivo fibras celulósicas numa proporção de 0,3% (relativamente ao peso total da mistura).

3 MÉTODOS DE FORMULAÇÃO TRADICIONAIS

3.1 Mistura AC 20 (MB)

O método de Marshall é utilizado correntemente na formulação de misturas betuminosas tradicionais, conforme indicado na NP EN 13108-1 e no Caderno de Encargos Tipo Obra da Estradas de Portugal. Para misturas do tipo AC 20 (MB) é utilizada uma energia de compactação de 75 pancadas por face. A temperatura de mistura utilizada foi de 155°C e a de compactação foi de 145°C. Foram utilizadas 5 percentagens em betume, de 3,5% a

5,5%, com incrementos de 0,5%. Os resultados são apresentados na Fig. 2. A percentagem ótima em betume obtida foi de 5,0%.

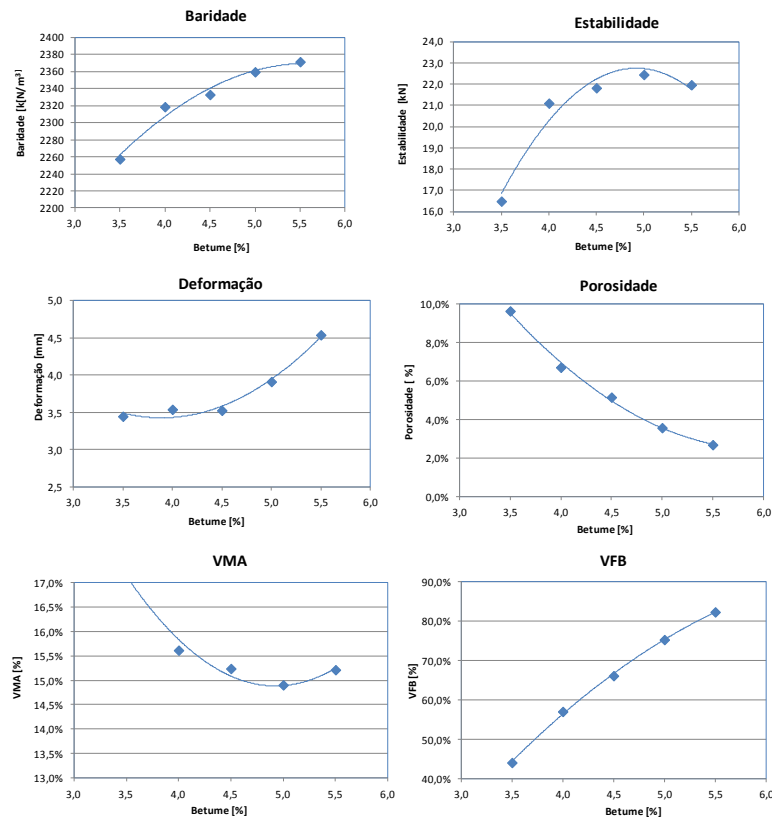


Fig. 2. Resultados da formulação da mistura AC 20 (MB) pelo método de Marshall

3.2 Mistura SMA 12,5

O método tradicional de formulação de misturas SMA tem por base a análise da porosidade em provetes Marshall [5, 8]. Esta foi a metodologia utilizada neste trabalho. A energia de compactação utilizada foi de 50 pancadas por face. Foram utilizadas 5 percentagens em betume de 5,5% até 7,5%, com incrementos de 0,5%.

Os provetes da mistura SMA foram selados por imersão em parafina fundida de acordo com a EN 12697-6. A percentagem ótima em betume foi determinada utilizando as baridades obtidas com os provetes selados. A Fig. 3 apresenta a variação com a percentagem em betume de algumas das propriedades da mistura SMA 12,5, nomeadamente, a porosidade, a baridade, o VMA (vazios no esqueleto sólido do agregado) e o VFB (vazios preenchidos por betume) com a percentagem em betume.

A percentagem ótima em betume é selecionada de modo a obter porosidades nos provetes Marshall entre 3,0% e 4,0% [8]. Para a mistura SMA 12,5, considerando este intervalo de variação da porosidade, seriam obtidas percentagens ótimas em betume entre 6,5% e 7,0%. Como valor de referência utilizou-se uma porosidade de formulação de 4%, obtendo-se deste modo uma percentagem ótima de betume de 6,5%.

Foi realizada para a percentagem ótima em betume a avaliação da drenagem do betume. A drenagem do betume pode ocorrer durante o armazenamento ou o transporte da mistura, e pode levar ao aparecimento de patologias no pavimento. Para a avaliação da drenagem do betume foi realizado o ensaio de Shellenberg, conforme indicado na EN 12697-18.

O ensaio foi realizado a uma temperatura 25°C superior à utilizada na mistura, neste caso 180°C. O valor de drenagem obtido foi de 0,28%. Este valor é aceitável embora esteja perto do máximo recomendado de 0,3%.

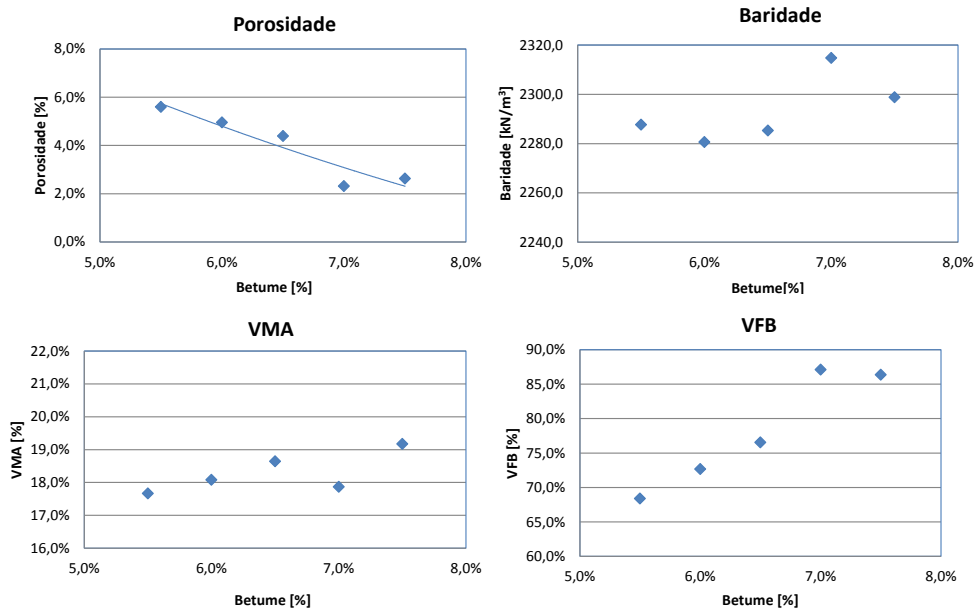


Fig. 3. Variação da porosidade, baridade, VMA e VFB da mistura SMA 12,5 com a percentagem em betume

4 MÉTODO DE FORMULAÇÃO VOLUMÉTRICO

A metodologia de formulação volumétrica seguida neste trabalho é similar à metodologia SUPERPAVE utilizada nos EUA. Nesta metodologia, à semelhança do método de Marshall, para uma determinada granulometria são testadas diversas percentagens em betume. Os provetes são compactados utilizando um compactador giratório. A percentagem ótima em betume é selecionada como aquela que permite obter a porosidade desejada para a energia de compactação considerada para a formulação, N_{design} .

Os provetes foram produzidos utilizando em geral condições semelhantes às dos provetes Marshall. Foram utilizadas temperaturas de 155°C e de 145°C, para a mistura e para a compactação, respetivamente. A mistura foi submetida a um procedimento de envelhecimento de curto prazo que consistiu na sua colocação em estufa à temperatura de compactação durante 2 horas, de acordo com a AASHTO R30 [10]. A compactação foi realizada de acordo com a AASHTO T312 [11] e a EN 12697-31 [12]. A pressão de compactação foi de 600 kPa, o ângulo interno dinâmico foi de 1,16° e a velocidade de rotação foi de 30 rpm. Os provetes têm dimensões de 150 mm de diâmetro e 115 mm de altura. O compactador giratório permite analisar a evolução da porosidade durante a compactação, pois vai medindo a altura do provete durante o processo. Deste modo, é possível estimar qual a percentagem ótima em betume que seria obtida para diferentes níveis de compactação.

4.1 Mistura AC 20 (MB)

Para a mistura AC 20 (MB) foi utilizada uma energia de compactação de 125 giros. Este é o valor adotado para N_{design} em diversos Departamentos Estaduais de Transportes (DOT) dos EUA para pavimentos com tráfego pesado. Os resultados obtidos na formulação volumétrica são apresentados na Fig. 4. Foram utilizadas 4 percentagens em betume, de 4,0% a 5,5%, com incrementos de 0,5%.

A porosidade considerada para formulação da mistura foi de 4,0%. Deste modo, para um nível de compactação de 125 giros a percentagem ótima em betume foi de 4,4%. Este valor é consideravelmente inferior ao obtido no método de Marshall. Quanto maior for a energia de compactação utilizada para a formulação, N_{design} , menor será a percentagem ótima em betume. Foi analisada a variação da percentagem ótima em betume que seria obtida para diversos níveis de compactação. Os resultados são apresentados na Fig. 5. Uma percentagem ótima em betume de 5,0%, igual à proveniente do método de Marshall, seria obtida para um N_{design} de 60 giros.

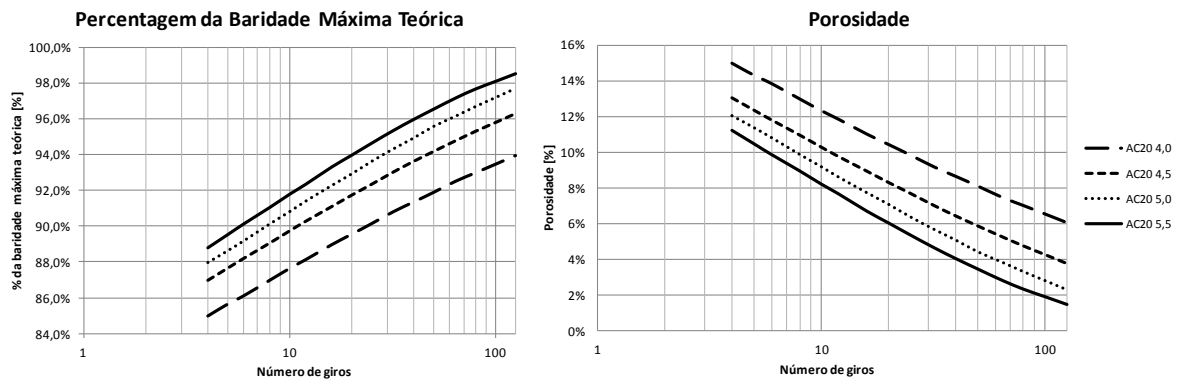


Fig. 4. Resultados da compactação giratória dos provetes para a mistura AC 20 (MB)

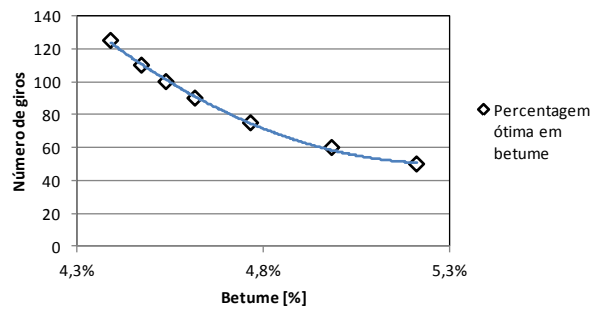


Fig. 5. Variação da percentagem ótima em betume com a energia de compactação

Na Fig. 6 e na Fig. 7 são apresentadas as variações da porosidade, do VMA e do VFB com a percentagem em betume e a energia de compactação. As figuras apresentam igualmente os resultados obtidos pelo método de Marshall. Pode observar-se que as propriedades volumétricas das misturas obtidas pelos dois métodos são similares para uma energia de compactação entre os 50 e os 75 giros. Para percentagens em betume mais baixas esta similaridade nas propriedades ocorre para uma energia de compactação de 75 giros. Com o aumento da percentagem em betume a correspondência ocorre para níveis de compactação mais próximos dos 50 giros. No Quadro 1 apresentam-se algumas das propriedades das misturas formuladas pelo método de Marshall e com várias energias de compactação no compactador giratório, para a gama de valores em que se observam similaridades com a mistura formulada pelo método Marshall.

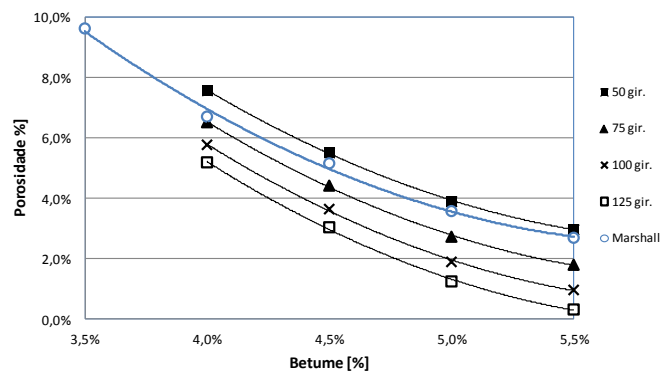


Fig. 6. Variação da porosidade com a percentagem em betume para a mistura AC 20 (MB)

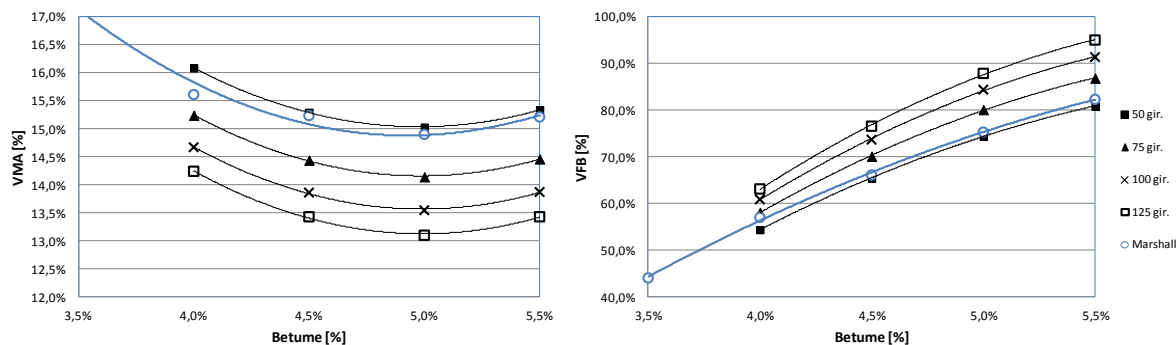


Fig. 7. Variação do VMA e VFB com a percentagem em betume para a mistura AC 20 (MB)

Quadro 1. Propriedades da mistura AC 20 (MB)

Propriedades	EP 2009 [4]	Marshall	50 gir.	60 gir.	75.gir.
Percentagem em betume [%]	$\geq 3,5$	5,0	5,2	5,0	4,8
Estabilidade Marshall [kN]	$7,5 \leq S \leq 21,0$	22,7	---	---	---
Deformação Marshall [mm]	$2 \leq F \leq 4$	4,0	---	---	---
Quociente Marshall [kN/mm]	≥ 2	5,8	---	---	---
Porosidade [%]	$3 \leq V \leq 6$	3,7	4,0	4,0	4,0
VMA [%]	≥ 14	15,0	15,7	15,2	14,8
VFB [%]	---	75,3	74,2	73,7	73,2

4.2 Mistura SMA 12,5

Os níveis de compactação utilizados para a formulação do SMA apresentam algumas variações nas especificações dos diversos DOT dos EUA. Embora o nível de compactação indicado mais frequentemente para formulação seja de 50 giros, os valores podem variar entre 50 e 100 giros. Neste trabalho utilizou-se um nível de compactação de 50 giros na compactação. Foi utilizada uma porosidade alvo de 4% para selecionar a percentagem ótima em betume. Foram utilizadas 4 percentagens em betume, de 6,0% a 7,5% com incrementos de 0,5%. A determinação da porosidade foi realizada com os provetes selados com parafina.

Os resultados obtidos são apresentados na Fig. 8. Pode observar-se que para um nível de 50 giros a percentagem ótima em betume seria de 6,6%. Esta percentagem ótima em betume é ligeiramente superior ao valor de 6,5% obtido pela metodologia tradicional. A igualdade entre metodologias seria conseguida com um N_{design} de 51 giros. Deste modo, para esta mistura e nas condições utilizadas, um N_{design} de 50 giros é adequado para a formulação, obtendo-se resultados similares aos da metodologia tradicional. Na Fig. 9 e na Fig. 10 apresenta-se a variação da porosidade, do VMA e do VFB com a percentagem em betume para várias energias de compactação.

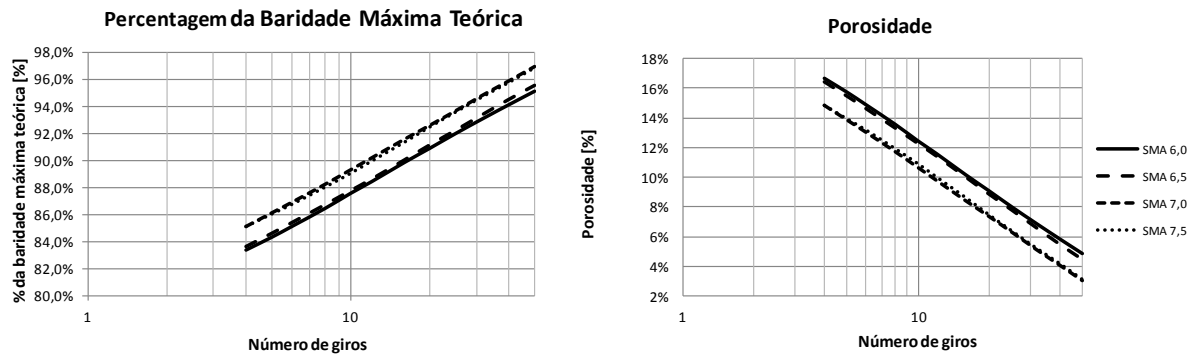


Fig. 8. Resultados da compactação giratória para a mistura SMA 12,5

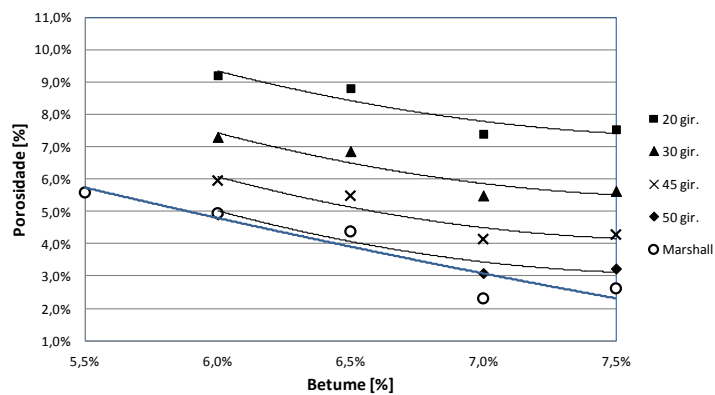


Fig. 9. Variação da porosidade com a percentagem em betume para a mistura SMA 12,5

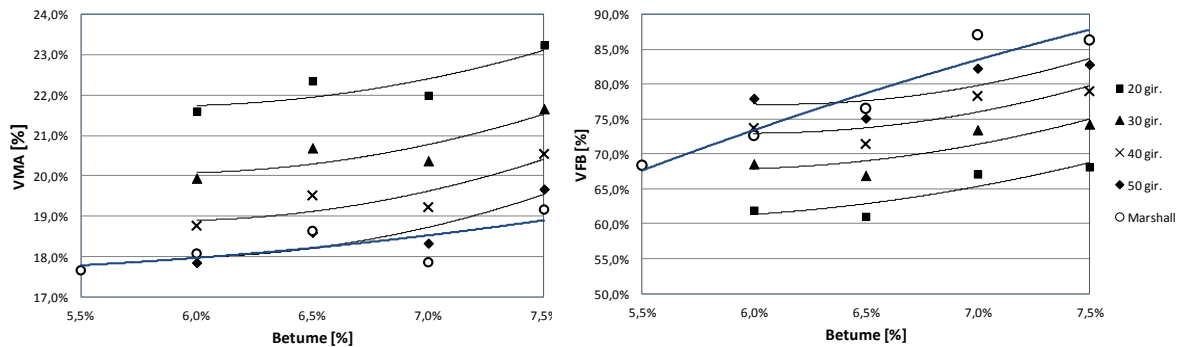


Fig. 10. Variação do VMA e do VFB com a percentagem em betume para a mistura SMA 12,5

No Quadro 2 apresentam-se algumas das propriedades das misturas obtidas pela formulação tradicional e para várias energias de compactação no compactador giratório. Valores inferiores a 40 giros não permitiram obter porosidades de 4%. Apresentam-se ainda algumas orientações de especificações consideradas de referência. As propriedades volumétricas da mistura SMA 12,5 formulada enquadram-se nos valores indicados para misturas similares.

Quadro 2. Propriedades da mistura SMA 12,5

Propriedade	ZTV-Asphalt StB 2001 [6]	AASHTO M 325-08 [7]	Prov. Marshall*	45 gir	50 gir.
Percentagem em betume [%]	≥6,5	≥6,0	6,5	6,9	6,6
Porosidade [%]	3,0 – 4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
VMA [%]	---	≥17	18,2	19,1	18,3
VFB [%]	---	---	78,0	77,7	77,8

* - Provetes Marshall compactados com 50 pancadas/face

4.3 Valores do Locking Point

O *Locking Point* pode ser definido como o energia de compactação para a qual a altura do provete diminui menos de 0,1 mm em três giros consecutivos. Para a mistura AC 20 (MB) os valores do *Locking Point* encontram-se entre os 74 e os 81 giros (Quadro 3). Observa-se que existe um ligeiro aumento do valor do *Locking Point* com o incremento da percentagem em betume. Estes resultados indiciam que valores máximos de N_{design} desta ordem podem ser adequados à mistura estudada. No caso da mistura SMA 12,5 não se alcançou o *Locking Point* em nenhum dos provetes para a energia de compactação utilizada, 50 giros. Isto pode indicar que esta mistura apresenta valores do *Locking Point* semelhantes à mistura AC 20 (MB).

Quadro 3. Valores do *Locking Point* para a mistura AC 20 (MB)

	Pb =4,0%	Pb =4,5%	Pb =5,0%	Pb =5,5%
<i>Locking point</i> [giros]	74	78	79	81
Percentagem da BMT [%]	93,6	95,9	97,4	98,4

BMT – Baridade máxima teórica

4.4 Trabalhabilidade das Misturas

Com a evolução da compactação dos provetes é possível avaliar a trabalhabilidade das misturas, o que influencia a sua compactabilidade. Com base nas curvas de compactação obtidas no compactador giratório foram determinados vários indicadores, tais como o CEI (*Compaction Energy Index*), o WI (*Workability Index*) e o CC (*Compactability Coefficient*). O CEI traduz os resultados da compactação entre o giro número 8 e aquele em que se obtém 92% da BMT, o qual pode ser traduzido pela expressão (1):

$$CEI = \sum_{i=N8}^{i=N(\%BMT=92\%)} (\%BMT_{Ni} - \%BMT_{N8}) \quad (1)$$

Em que:

$\%BMT_{Ni}$ - Percentagem da BMT no ciclo i;

$N(\%BMT = 92\%)$ – giro no qual se obtém uma compactação de 92% da BMT.

Modelando a evolução da porosidade com o número de giros utilizando a expressão (2):

$$P_i = a - b \times \log(i) \quad (2)$$

Em que,;

P_i – porosidade após i giros;

a e b – constantes.

A trabalhabilidade da mistura é avaliada através do índice WI, que se encontra relacionado com a porosidade da mistura no giro 0 e a compactabilidade através do CC. Estes parâmetros são determinados pela expressão (3) e (4):

$$WI = \frac{100}{a} \quad (3)$$

$$CC = b \quad (4)$$

Considera-se que misturas que apresentem valores de WI iguais ou inferiores a 6 apresentam dificuldades no seu espalhamento e compactação. Quanto maior for o WI melhor é a trabalhabilidade da mistura. Os resultados obtidos apresentam-se na Fig. 11.

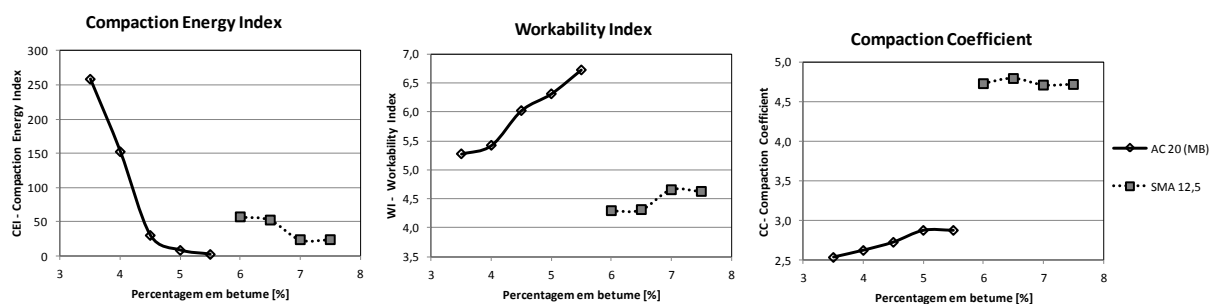


Fig. 11. Variação do CEI, WI e CC para a mistura AC 20 (MB) e SMA 12,5

A compactabilidade das misturas melhora com a diminuição do CEI. Deste modo, a trabalhabilidade melhora com o aumento da percentagem em betume em ambas as misturas. Esta variação é mais acentuada para a mistura densa AC 20 (MB). Para a mistura SMA a variação é mais ligeira e os valores mínimos obtidos são superiores aos da mistura AC 20 (MB). Assim, este índice apresenta-se mais adequado a avaliar a compactabilidade de misturas densas, embora os resultados se mostrem coerentes quando se comparam as duas misturas. Atendendo aos resultados obtidos para mistura AC 20 (MB), as formulações com percentagens em betume de 3,5% e 4,0% apresentaram trabalhabilidades relativamente baixas. No caso da mistura SMA 12,5 as misturas com 6,0% e 6,5% de betume apresentam uma trabalhabilidade inferior.

O WI aumenta com o incremento da percentagem em betume, indicando que estas misturas têm melhor trabalhabilidade. No entanto, os valores obtidos para a mistura AC 20 (MB) são sempre superiores aos obtidos para a mistura SMA 12,5. Atendendo ao que é o conhecimento sobre o comportamento das misturas, este índice aparenta ser mais adequado a misturas densas, não sendo aconselhável a sua utilização na comparação de misturas de diferentes tipologias.

Os valores obtidos para o CC para a mistura AC 20 (MB) são sempre inferiores aos obtidos para a mistura SMA 12,5. Isto significaria que a mistura AC 20 (MB) apresentaria sempre menor compactabilidade do que a mistura SMA 12,5. De facto, observa-se que a compactação da mistura SMA decorre a um ritmo superior, pois esta no início da compactação tem uma porosidade superior, reduzindo depois para valores semelhantes aos da mistura AC 20. Deste modo, a evolução da porosidade com o número de giros é superior no caso do SMA. Atendendo ao exposto para o WI e o CC, será, expectável que a mistura SMA apresente valores inferiores para o WI e superiores para o CC. À semelhança do WI este parâmetro também não aparenta ser adequado à comparação de misturas de diferentes tipologias.

5 CONCLUSÕES

Os resultados indicam que para a mistura AC 20 (MB) estudada um N_{design} de 60 giros fornecerá na metodologia de formulação volumétrica uma percentagem ótima em betume semelhante à obtida no método de Marshall. Valores de N_{design} entre 50 e 75 giros conduzem a propriedades volumétricas da mistura formulada similares às

obtidas no método de Marshall, conforme a percentagem em betume. Os valores do *Locking Point* para a mistura AC 20 (MB) encontram-se entre os 74 e os 81 giros. Observa-se um incremento do *Locking Point* com o aumento da percentagem em betume. Serão expectáveis valores máximos para o N_{design} para esta mistura na ordem de 80 giros. Deste modo, a gama de valores de N_{design} apropriados a esta mistura situar-se-á entre 50 e 80 giros.

A mistura SMA 12,5 formulada por ambas as metodologias utilizadas apresenta propriedades adequadas e dentro do definido em especificações e orientações aplicáveis. Um N_{design} de 50 giros permitiu obter uma mistura com propriedades semelhantes às que se obtiveram na metodologia tradicional com provetes Marshall compactados com 50 pancadas por face. Para a mistura SMA 12,5 o *Locking Point* não foi atingido em nenhum provete para a energia de compactação utilizada, 50 giros.

O CEI aparenta ter capacidade para traduzir a compactabilidade das misturas betuminosas, fornecendo valores mais coerentes quando se comparam os valores obtidos para as duas misturas em estudo, que têm propriedades bastante diferentes. O WI e o CC não apresentam valores coerentes quando se comparam as duas misturas, pelo que podem não ser adequados à comparação da trabalhabilidade de misturas com características marcadamente distintas. A trabalhabilidade das misturas aumentou com a percentagem em betume.

No futuro serão realizados ensaios de desempenho, nomeadamente, para avaliação da resistência à deformação permanente e à fadiga, e para análise da sensibilidade à água. Os resultados destes ensaios permitirão relacionar os parâmetros de formulação e as propriedades das misturas formuladas com o seu desempenho.

6 REFERÊNCIAS

1. Baptista, A., Picado-Santos, L., Capitão, S., Design of Hot Mix Recycled Asphalt Concrete Produced in Plant without Preheating the Reclaimed Material, *IJPE – International Journal of Pavement Engineering*, iFirst, 2011.
2. Baptista, A., Picado-Santos, L., Capitão, S., Oliveira, J., Performance-Based Mix Design Method or Bituminous Hot-Mix Recycling in Plant, *EPAM3 – 3rd European Pavement and Asset Management Conference*, 7-9 July, Coimbra, 2008.
3. Gardete, D., Picado-Santos, L., Capitão, S., "Formulação Volumétrica de Misturas Betuminosas Tradicionais Portuguesas – Análise de Procedimentos Implementados Noutros Países", *Actas do XV Congresso Ibero-LatinoAmericano del Asfalto*, 22-27 de Novembro, Lisboa, 2009.
4. Prozzi, J. e Aguiar, J., Método de Optimización del Número de Giros de Diseño Mediante Desempeño Relativo. *Revista Infraestructura Vial*, N.º 17 35-45, 2007.
5. Abreu, C., Picado-Santos, L., Contribuição para o Uso de “Stone Mastic Asphalt” na Tecnologia Portuguesa, *Actas do XV Congresso Ibero-LatinoAmericano del Asfalto*, 22-27 de Novembro, Lisboa, 2009.
6. Estradas de Portugal, *Caderno de Encargos Tipo Obra. Estradas de Portugal*, Almada, 2009.
7. CEN, *Bituminous mixtures – Material Specifications – Part 5: Stone Mastic Asphalt. EN 13108-5*, European Committee for Standardization, Brussels, 2006.
8. Drüschner, L. e Schäfer, V., *Stone Mastic Asphalt*, German Asphalt Association, Bonn, 2000.
9. Prowell, B., Watson D., Hurley G. e Brown, E., *Evaluation of Stone Matrix Asphalt (SMA) for Airfields Pavements*, AAPT 04-04 Final Report, National Center for Asphalt Technology, Auburn, 2009.
10. AASHTO, *Standard Practice for Mixture Conditioning of Hot-Mix Asphalt (HMA)*, AASHTO standard R-30, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington D. C., 2002.
11. AASHTO, *Standard Method of Test for Preparing and Determining the Density of Hot-Mix Asphalt (HMA) Specimens by Means of the Superpave Gyrotory Compactor*, AASHTO standard T 312, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington D. C., 2004.
12. CEN, *Bituminous Mixtures - Test Methods for Hot Mix Asphalt - Part 31: Specimen Preparation by Gyrotory Compactor. EN 12697-31*. European Committee For Standardization, Brussels, 2007.