

INFLUÊNCIA DOS PROCEDIMENTOS DE DETERMINAÇÃO DA BARIDADE EM MISTURAS BETUMINOSAS DENSAS E STONE MASTIC ASPHALT



D. GARDETE
Assistente
IPCB
CERIS-CESUR
Castelo Branco; Portugal
dgarde@ipcb.pt



L. PICADO-SANTOS
Professor
CERIS-CESUR
Instituto Superior Técnico
Universidade de Lisboa
Lisboa; Portugal
luispicadosantos@tecnico.ulisboa.pt



S. CAPITÃO
Professor
IPC, ISEC
CERIS-CESUR
Coimbra; Portugal
capitao@isec.pt

RESUMO

Neste trabalho realiza-se uma avaliação da utilização de diferentes procedimentos de determinação das baridades de misturas betuminosas. Utilizou-se uma mistura densa, do tipo AC 20, e uma mistura de granulometria descontínua do tipo SMA 12,5. Fabricaram-se em laboratório provetes Marshall, com compactação por impactos, e provetes SUPERPAVE, obtidos por compactação giratória. Os resultados indicam que a mistura SMA 12,5 apresenta uma textura superficial significativa mas o seu interior é fechado e os vazios não apresentam interligação significativa. Existe uma variação significativa das propriedades determinadas para as misturas com os diferentes procedimentos, com impacto significativo nos resultados da sua formulação.

1. INTRODUÇÃO

A determinação da baridade de provetes de misturas betuminosa é dos ensaios mais comuns sendo realizada frequentemente em laboratório. Estes valores estão na base da determinação das propriedades volumétricas das misturas, como seja a porosidade, o VMA (Vazios no Esqueleto do Agregado) e VFB (Vazios Preenchidos por Betume). Estas propriedades são parte integrante das metodologias de formulação, podendo inclusivamente constituir critérios de formulação ou ser utilizadas para estabelecer valores limite de aceitação da formulação. Em Portugal, com a utilização da metodologia Marshall os valores da porosidade e do VMA são critérios de formulação e são utilizados para estabelecer valores limite de aceitação da composição [1].

A EN 12697-6 define diferentes procedimentos para avaliação da porosidade. Os procedimentos indicados são [2]:

- A) Baridade seca;
- B) Baridade saturada com a superfície seca (SSD);
- C) Baridade com o provete selado;
- D) Baridade geométrica.

Os resultados obtidos pelos diferentes procedimentos variam em função do volume considerado na determinação da baridade. A baridade seca retira do volume todos os vazios que sejam preenchidos por água. A baridade SSD retira do volume vazios que após a secagem superficial do provete continuem a reter água no seu interior. A baridade com selagem do provete apenas contabiliza para o volume os vazios onde o elemento de selagem penetre. Deste modo, a fronteira é indicada pela face interior do elemento de selagem. Na baridade geométrica o volume é determinado pelas dimensões do provete, portanto todos os vazios são considerados no volume.

A seleção do procedimento a utilizar é função das características das misturas betuminosas. A EN 12697-6 refere a utilização da baridade a seco para misturas sem rugosidade superficial e com vazios com dimensões muito reduzidas e sem ligação ao exterior (misturas com agregados finos e elevadas quantidades em betume). A baridade SSD é recomendada para misturas betuminosas densas, de granulometria contínua, com porosidades até 5%, ou em misturas com vazios de grande dimensão, com porosidades até 4%. Uma secagem exagerada dos provetes provoca uma subestimação da porosidade, enquanto uma secagem deficiente conduz a uma sobrestimação da porosidade. A porosidade com selagem dos provetes deve ser utilizada em misturas com porosidades superiores às indicadas para a baridade SSD até misturas com valores da porosidades de 15%. O material de selagem utilizado tem uma influência significativa nos resultados. No caso de utilização de parafina, esta vai penetrar nos vazios de maior dimensão do provete, retirando-os do volume. Deste modo, não se contabiliza a rugosidade superficial no volume e pode subestimar-se a porosidade. A selagem com películas, por exemplo parafilme, que apenas envolvem o provete, contabiliza a textura superficial como parte do provete podendo conduzir a uma sobrestimação da porosidade. Para porosidades superiores a 15% é recomendada utilização da baridade geométrica, esta tende a sobrestimar a porosidade podendo incluir defeitos do provete como vazios da mistura. Em Portugal é geralmente recomendada a utilização do procedimento SSD para a generalidade das misturas utilizadas [1].

2. TRABALHO EXPERIMENTAL

Selecionaram-se duas misturas com características diferentes dos vazios e textura superficial. As misturas utilizadas foram do tipo AC 20 e SMA 12,5. A mistura AC 20 é uma mistura densa, de granulometria contínua, com reduzida textura superficial e com vazios de pequena dimensão. A mistura SMA 12,5 é uma mistura de granulometria descontínua e uma elevada percentagem em betume, apresenta elevada textura superficial. Na Figura 1 apresentam-se as curvas granulométricas das misturas. Foram utilizados agregados graníticos, filer calcário e betume 35/50 para fabrico das misturas.

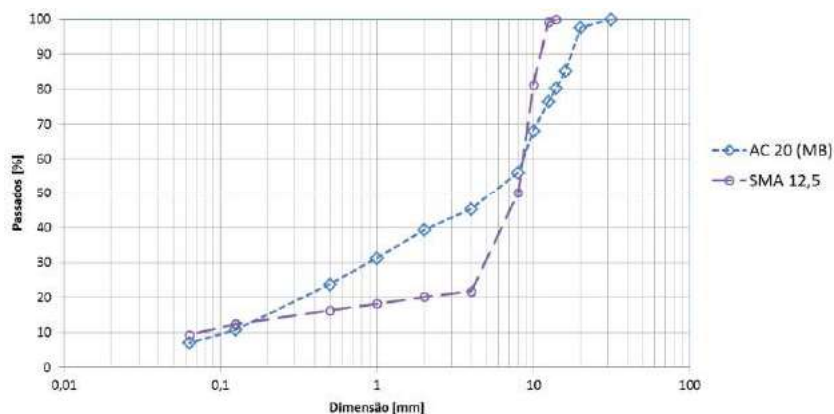


Figura 1: Curvas granulométricas das misturas AC 20 e SMA 12,5

Na Figura 2 apresentam-se imagens de provetes Marshall, observando-se a diferença entre a rugosidade superficial das misturas. Apesar de apresentar rugosidade superficial elevada, a mistura SMA caracteriza-se por apresentar um interior fechado com a presença pontual de vazios de grande dimensão.

Para o trabalho realizado fabricaram-se provetes Marshall e SUPERPAVE. Os provetes Marshall são obtidos por compactação por impactos e têm dimensões de 101 mm de diâmetro e 63 mm de altura. Os Provetes SUPERPAVE são produzidos por compactação giratória e têm dimensões de 150 mm de diâmetro e 115 mm de altura. Para a mistura AC 20 foram produzidos provetes Marshall com energia de compactação de 35 e 75 pancadas/face e provetes SUPERPAVE com 125 giros. Para a mistura SMA 12,5 foram produzidos provetes Marshall com energias de compactação de 35, 50 e

75 pancadas/face e SUPERPAVE com 50, 75 e 100 giros. A percentagem em betume variou para ambas as misturas entre os valores correntes utilizados na prática. Refira-se que os provetes não foram produzidos especificamente para a análise aqui realizada. Estes provetes foram submetidos aos diferentes procedimentos de determinação das baridades analisando-se os resultados obtidos.



Figura 2: Textura superficial das misturas AC 20 e SMA 12,5 em provetes Marshall

Os provetes de mistura SMA 12,5, devido à textura superficial, foram selados utilizando parafina e película plástica. Os procedimentos de selagem em geral maior consumo de recursos e de tempo. Para a parafina os inconvenientes são superiores pois esta adere aos provetes podendo influenciar resultados de ensaios posteriores ou dificultar a utilização de equipamentos laboratoriais. A parafina utilizada foi uma parafina CEPSA PARASUR 150. A curva de variação de massa volúmica com a temperatura determinada para esta parafina apresenta-se na Figura 3. A utilização de películas aderentes ou parafilme aproxima os resultados obtidos da baridade geométrica e existe alguma dificuldade no ajuste aos provetes. Deste modo, optou-se por realizar a selagem com película plástica e aplicação de vácuo. A selagem a vácuo foi realizada com um equipamento externo com aplicação de uma pressão de vácuo de 50 kPa e utilizando películas plásticas com composição PA/PE. Com base na sua composição, a massa volúmica considerada para a película foi de 970 kg/m^3 , não se considerando variação desta com a temperatura de ensaio. A utilização deste tipo de selagem tem o inconveniente da película poder ser perfurada durante a selagem ou manuseamento do provete. O custo por ensaio também é incrementado significativamente.

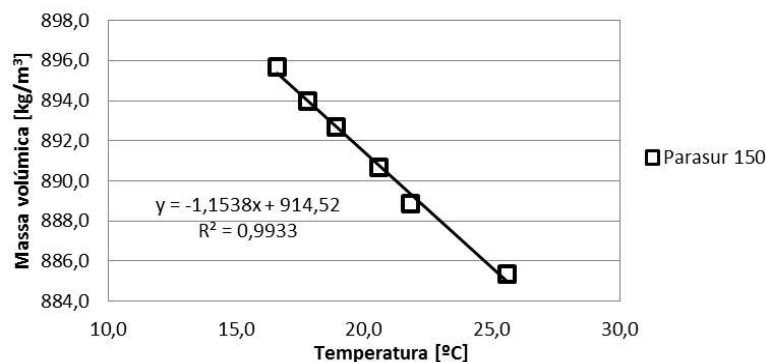


Figura 3: Massa volúmica da parafina

3. ANÁLISE DE RESULTADOS

Optou-se por realizar a análise comparativa dos diferentes procedimentos utilizando os valores das porosidades em detrimento dos valores da baridade [3]. Como referência utilizaram-se os valores obtidos para a porosidade determinada com a baridade SSD, uma vez que é o procedimento mais comum e é o mais utilizado em Portugal [1]. A baridade máxima teórica (BMT) foi determinada de acordo com o procedimento A referido na EN 12697-5 [4]. Apresentam-se em seguida a comparação entre os diferentes procedimentos para os provetes Marshall e SUPERPAVE.

3.1 Resultados obtidos em provetes Marshall - Mistura AC 20

A mistura AC 20 é uma mistura de utilização corrente e as suas características são conhecidas, contudo, os valores obtidos são mencionados para referência de comparação com a mistura SMA 12,5. Para a mistura AC 20 não se realizou a selagem dos provetes. A comparação dos valores da porosidade obtidos com os diferentes procedimentos é apresentada na Figura 4.

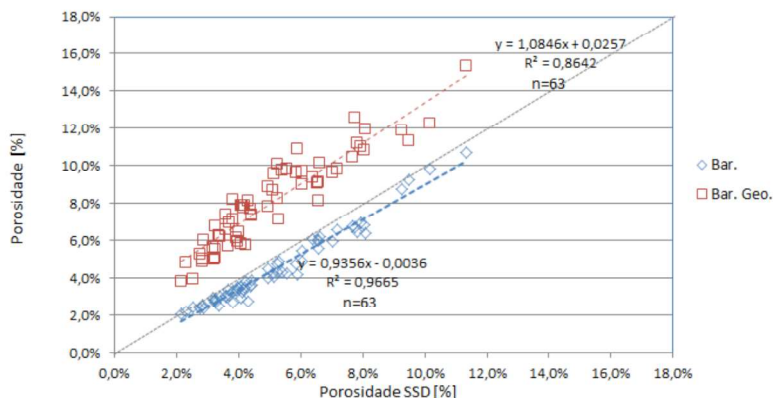


Figura 4: Porosidade em provetes Marshall de mistura AC 20

Os valores obtidos apresentam a tendência esperada. As diferenças entre os valores obtidos pelos diferentes procedimentos tendem a aumentar com o aumento da porosidade. Esse afastamento é mais significativo para os valores obtidos com a baridade geométrica. A correlação entre os valores da porosidade obtidos com a baridade geométrica e SSD apresentam um coeficiente de determinação inferior. Esta pior relação pode advir da consideração de defeitos devido a segregação no volume dos provetes que ocorre na determinação da baridade geométrica.

3.2 Resultados obtidos em provetes Marshall - Mistura SMA 12,5

Os resultados obtidos para os provetes Marshall de mistura SMA 12,5 apresentam-se na Figura 5. Observa-se que a pior correlação ocorreu entre os valores da porosidade determinados com a baridade e a baridade geométrica. O afastamento entre os valores com o aumento de porosidade é regular pois com o aumento dos vazios as diferenças entre os diferentes procedimentos tenderá a aumentar. A única exceção ocorre com a porosidade obtida com selagem dos provetes com parafina. Os valores da porosidade determinada com selagem com parafina foram próximos da porosidade SSD e tenderam a aproximar-se com o aumento da porosidade. Isto pode dever-se à maior dimensão dos vazios que facilita a penetração da parafina aproximando os volumes SSD e com selagem com parafina. A porosidade determinada com selagem com película plástica com aplicação de vácuo tem uma tendência inversa, aumentando a diferença dos valores obtidos com o aumento de porosidade. Isto ocorre porque a película não se adapta a uma maior quantidade e dimensão de vazios, o que induz a tendência observada. Esta tendência é reforçada pelo facto da selagem com películas integrar no volume a rugosidade superficial. A mesma tendência é observável para a porosidade geométrica.

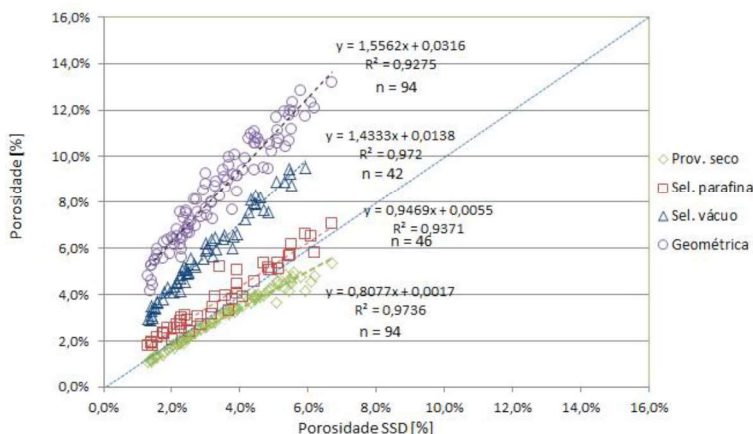


Figura 5: Porosidade em provetes Marshall de mistura SMA 12,5

3.3 Resultados obtidos em provetes SUPERPAVE - Mistura AC 20

Para a mistura AC 20 fabricaram-se 9 provetes, todos com 125 giros de compactação e percentagens em betume entre 3,5% e 5,5%. Apesar da amostra ser relativamente reduzida, apresentam-se os valores para referência (Figura 6). Estes seguem a tendência esperada. As relações entre procedimentos foram elevadas, podendo a maior dimensão dos provetes ter um contributo positivo na redução da variabilidade dos resultados. Os provetes SUPERPAVE têm dimensões superiores, com um volume quatro vezes superior. A relação entre o volume do provete e a sua superfície é maior, uma relação de 2,27 para os provetes SUPERPAVE comparado com 1,40 para os provetes Marshall. Deste modo, a influência das características da superfície dos provetes é inferior para os provetes SUPERPAVE.

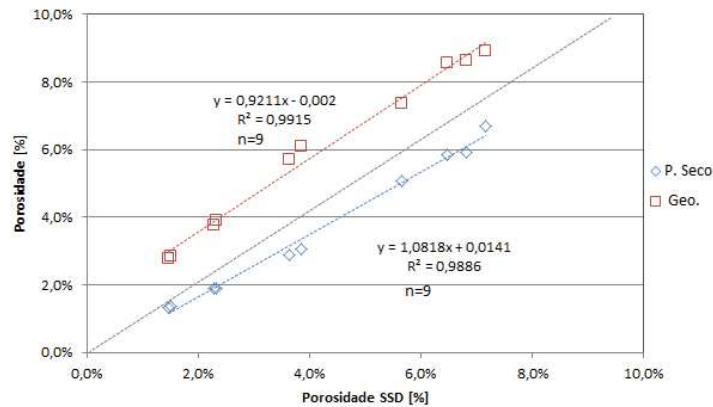


Figura 6: Porosidade em provetes SUPERPAVE de mistura AC 20

3.4 Resultados obtidos em provetes SUPERPAVE - Mistura SMA 12,5

A maior dimensão dos provetes aumenta a dificuldade dos processos de selagem. O manuseamento dos provetes selados requer igualmente mais cuidados, pois o maior peso do provete facilita que se danifique a selagem. O consumo de material de selagem é igualmente superior, passando de 30g num provete Marshall para 150g num provete SUPERPAVE. Os resultados obtidos apresentam-se na Figura 7. As correlações obtidas foram elevadas entre os diferentes procedimentos, podendo resultar da melhor relação volume/superfície destes provetes, como referido anteriormente.

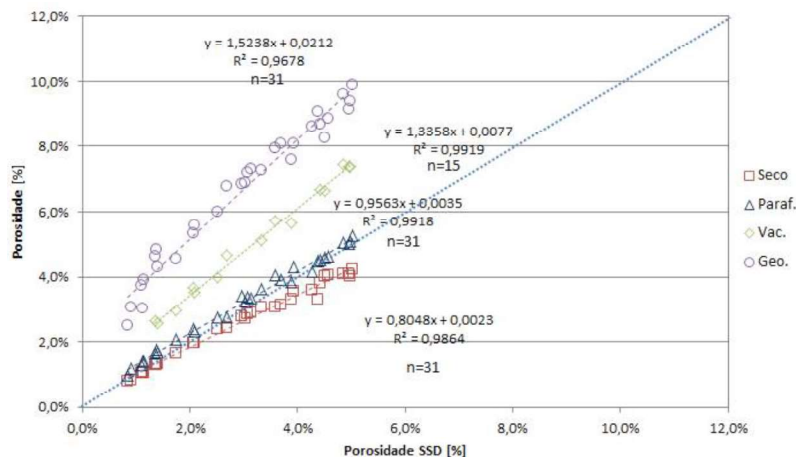


Figura 7: Porosidade em provetes SUPERPAVE de mistura SMA 12,5

3.5 Absorção

A norma EN 12697-6 indica a utilização de diferentes procedimentos em função da porosidade total. No entanto, é comum a referência à utilização da selagem do provete para absorções de água superiores a 2% [5]. Importa referir que, devido ao seu interior fechado, os provetes SMA 12,5 apresentam valores de absorção relativamente baixos (Figura 8). As porosidades determinadas com os valores da baridade obtidos pelo procedimento SSD apresentam-se igualmente

dentro do intervalo indicado na EN 12697-6 para este procedimento. Quer considerando a absorção quer a porosidade como referência para escolher o procedimento de ensaio, em geral, aceitar-se-á o procedimento de determinação da baridade SSD como adequado em misturas SMA. No entanto, convém salientar a não contabilização da textura superficial neste procedimento.

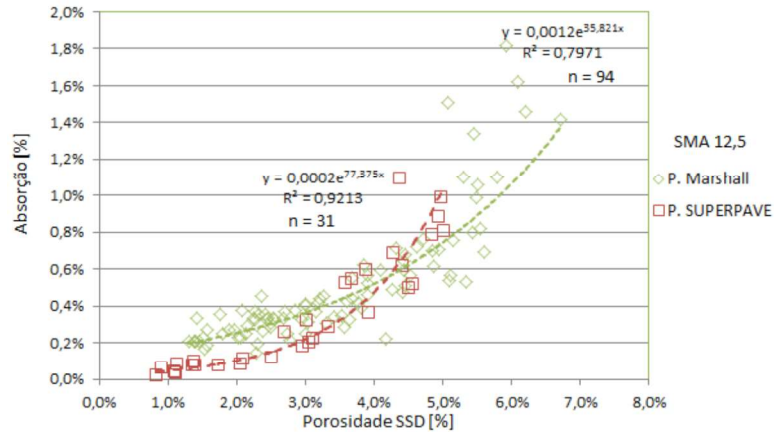


Figura 8: Valores da absorção em provetes de mistura SMA 12,5

Para valores reduzidos da porosidade a absorção dos provetes foi inferior à observada nos provetes Marshall, invertendo-se essa tendência para porosidades SSD superiores a 4,5%.

3.6 Rugosidade Superficial

A rugosidade superficial da mistura SMA 12,5 utilizada poderá ser estimada utilizando a diferença entre a porosidade determinada com diferentes procedimentos. Na Figura 9 apresenta-se a diferença entre os valores da porosidade obtidos com a selagem a vácuo dos provetes e com o procedimento SSD. Pode observar-se que a diferença dos valores, que se encontra maioritariamente associada à rugosidade superficial, é significativa. Como esperado esta diferença é superior nos provetes Marshall devido à maior relação volume/superfície.

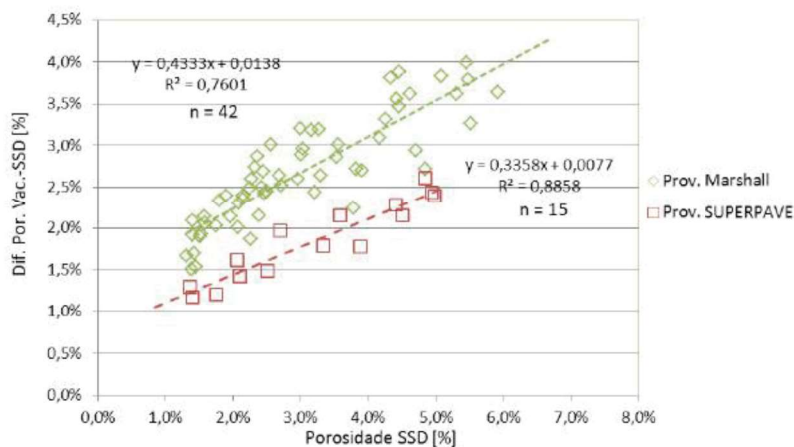


Figura 9: Diferença entre a porosidade com vácuo e SSD em provetes de mistura SMA 12,5

3.7 Propriedades Volumétricas

Os diferentes procedimentos de determinação da baridade conduzem a valores da porosidade diferentes, e portanto a valores de VMA e VFB igualmente diferentes. Apresenta-se para a mistura SMA a variação dos valores das propriedades volumétricas com a percentagem em betume para provetes Marshall compactados com 75 pancadas/face e SUPERPAVE com 100 giros (Figuras 10, 11 e 12). Estas energias de compactação são utilizadas correntemente para em misturas SMA em metodologias de formulação volumétrica [6].

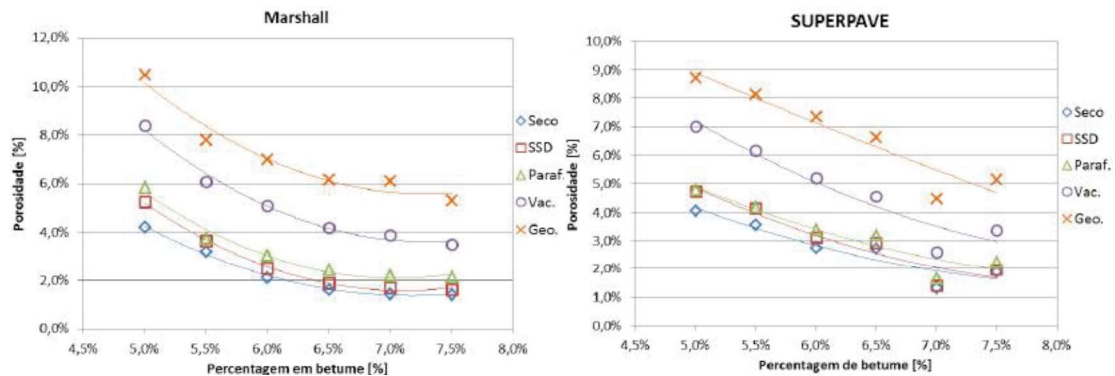


Figura 10: Valores da porosidade para a mistura SMA 12,5

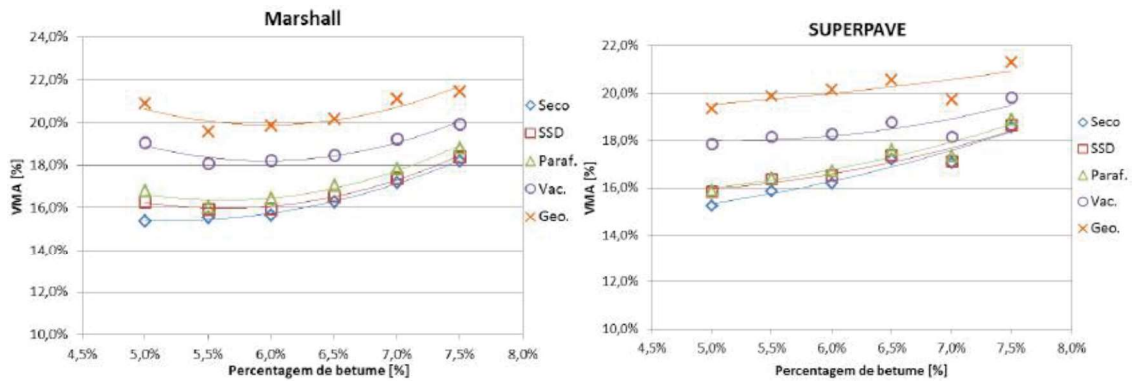


Figura 11: Valores de VMA obtidos para a mistura SMA 12,5

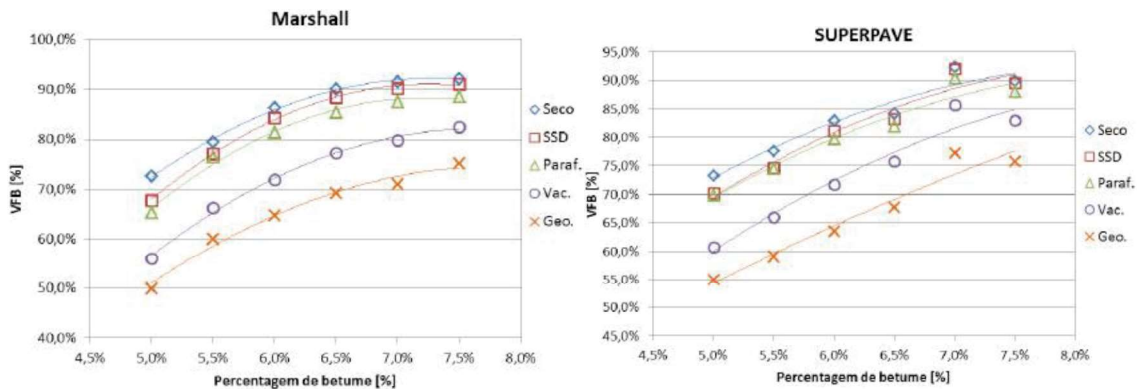


Figura 12: Valores de VFB obtidos para a mistura SMA 12,5

Nas metodologias em que a formulação é realizada com base nos valores da porosidade as diferenças podem ser significativas. Um valor comum de porosidade alvo utilizado na formulação é de 4,0% [6]. Na Tabela 1 podem observar-se as diferenças obtidas pelos diferentes procedimentos, considerando como base um valor da porosidade determinada com a baridade SSD de 4,0% para a mistura SMA 12,5. Pode observar-se que a utilização de diferentes procedimentos numa mesma mistura pode conduzir a resultados significativamente díspares.

4. CONCLUSÕES

A utilização da baridade SSD ou com selagem com parafina tenderá a subestimar a porosidade no caso de misturas abertas. Observa-se que a utilização de selagem com parafina não inclui a rugosidade superficial do SMA. Esta rugosidade superficial é, contudo, contabilizada com a utilização de selagem com vácuo ou geométrica.

A selagem com parafina tem o inconveniente de deixar resíduos nos provetes, de modo que a sua utilização poderá ser inconveniente em provetes que se destinem a ser ensaiados posteriormente. A porosidade com selagem a vácuo aumenta os custos associados e tem o inconveniente de poder ocorrer a perfuração da película durante o ensaio. As diferenças

entre os valores da porosidade obtidos pelos diferentes procedimentos foram muito significativas para as duas misturas estudadas. A utilização da baridade geométrica apresenta o inconveniente de incluir, na porosidade, defeitos de produção, como seja a desagregação e ninhos.

Tabela 1 - Valores da porosidade obtida por diferentes procedimentos correspondentes a uma porosidade SSD de 4%, mistura SMA 12,5

Energia de Compactação	Porosidade SSD [%]	Poros. selagem com parafina [%]	Poros. selagem a vácuo [%]	Poros. geométrica [%]
Marshall 50 p./f.	4,00%	4,67%	---	9,30%
Marshall 75 p./f.		4,44%	6,80%	8,74%
SUPERPAVE 50 giros		4,01%	---	8,12%
SUPERPAVE 75 giros		4,08%	---	8,10%
SUPERPAVE100 giros		4,15%	5,76%	8,32%

Os provetes SUPERPAVE obtiveram melhores relações entre os valores das porosidades determinadas utilizando as baridades determinadas pelos diferentes procedimentos. Estes resultados podem advir da maior dimensão dos provetes que aumenta a relação volume/superfície. A dimensão dos provetes é um fator relevante na determinação das baridades e das relações entre os diferentes procedimentos. A dificuldade em realizar a selagem aumenta com o aumento das dimensões dos provetes. O consumo de recursos é igualmente superior principalmente para a selagem com película plástica. A utilização da selagem tem igualmente o inconveniente de poder não ser possível utilizar para os diferentes tipos de provetes que atualmente são necessários para formulação das misturas betuminosas, dificultando a comparação de valores entre os diferentes provetes.

Os resultados indicam que as misturas SMA possuem um interior fechado, concentrando-se os vazios no exterior. De modo que apresentam absorções baixas. A utilização da absorção para diferenciação nos procedimentos apresenta-se mais adequada em misturas densas com vazios de pequena dimensão. A diferenciação por valores de porosidade, como realizado na EN 12697-6, apresenta o inconveniente de estes valores não estarem associados a nenhum procedimento em particular, verificando-se diferenças nos resultados apreciáveis entre eles.

O procedimento utilizado tem um impacto muito significativo nos resultados obtidos e, logo, na formulação da mistura. A definição clara dos procedimentos a utilizar deve ser parte das orientações de formulação de misturas betuminosas. A utilização de outros procedimentos, que não o SSD, deve ser equacionada para misturas mais abertas em que se considere que os vazios existentes devem ser considerados na estrutura das misturas.

6. REFERÊNCIAS

- [1] EP - Caderno de Encargos Tipo Obra, Estradas de Portugal, Almada, 2012
- [2] CEN, “Bituminous mixtures - Test methods for hot mix asphalt - Part 6: Determination of bulk density of bituminous specimens”, EN 12697-6, Comité Européen de Normalisation, Brussels, 2007
- [3] CEN, “Bituminous mixtures - Test methods for hot mix asphalt – Part 8: Determination of voids characteristics of bituminous specimens”, European Standard EN 12697-8:2003, Comité Européen de Normalisation, Brussels, 2003
- [4] CEN, “Bituminous mixtures - Test methods for hot mix asphalt - Part 5: Determination of the maximum density”, European Standard EN 12697-5:2003, Comité Européen de Normalisation, Brussels, 2007
- [5] AASHTO, “Standard Method of Test for Bulk Specific Gravity (Gmb) of Compacted Hot-Mix Asphalt (HMA) Using Saturated Surface-Dry Specimens”, AASHTO T 166, American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), Washington, D.C., 2013
- [6] Gardete, D. et al., “Formulação Volumétrica de Misturas Betuminosas – Análise dos níveis de compactação para formulação de um AC 20 e de um SMA”, 7º Congresso Rodoviário Português, 10 a 12 de abril, Lisboa, 2013