

AVALIAÇÃO DA TRABALHABILIDADE DE MISTURAS BETUMINOSAS COM BASE NAS CURVAS DE COMPACTAÇÃO

Dinis Gardete¹, Luís Picado-Santos² e Silvino Capitão³

¹ Instituto Politécnico de Castelo Branco e CERis-CESUR (IST-Universidade de Lisboa), Av. do Empresário, 6000-077 Castelo Branco

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

² Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Av. Rovisco Pais 1, 1049-001 Lisboa

³ Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, CERis-CESUR (IST-Universidade de Lisboa), R. Pedro Nunes, 3030-199 Coimbra

Sumário

Diversos estudos propõem a avaliação da trabalhabilidade de misturas betuminosas utilizando as curvas de compactação obtidas em laboratório. Utilizou-se um compactador giratório para produzir provetes de duas misturas, uma densa do tipo AC, e uma de granulometria descontínua, do tipo SMA. Foram determinados diversos parâmetros provenientes da modelação das curvas de compactação. Os resultados indicam uma adequação dos diversos parâmetros na caracterização das misturas, embora apresentem limitações na comparação de misturas de diferentes tipologias. Os resultados mostram que estes índices podem ser úteis em aplicações onde estas propriedades sejam importantes.

Palavras-chave: Misturas betuminosas; trabalhabilidade; compactabilidade; compactador giratório.

1 INTRODUÇÃO

A trabalhabilidade das misturas betuminosas é uma propriedade fundamental das misturas betuminosas [1]. Esta é contudo descurada em muitas aplicações pois não existe nenhum procedimento simples implementado para a sua avaliação. No entanto, ela pode ser importante para a obtenção dos resultados pretendidos em obra. A trabalhabilidade das misturas pode ser definida como uma propriedade que permite a produção, transporte, colocação e compactação de uma mistura com uma aplicação mínima de energia [2]. Esta propriedade tem duas componentes fundamentais, a espalhabilidade, definida como a capacidade de a mistura poder ser espalhada de modo desempenado sobre uma superfície, e a compactabilidade, que é a capacidade de a mistura poder ser compactada.

As misturas podem apresentar baixa compactabilidade sob dois tipos de condições definidas como sobretensionado (*overstressed*) e subtensionado (*understressed*) [3]. No primeiro caso, a mistura apresenta baixa estabilidade e não suporta o peso do compactador por ser demasiado deformável, não se verificando adensamento com a passagem do compactador. A situação subtensionada ocorre quando a mistura é muito estável ou o compactador aplica energia insuficiente. A trabalhabilidade das misturas depende da natureza do agregado, curva granulométrica, tipo e quantidade de ligante e temperatura da mistura [4]. Um excesso de finos ou carência de betume podem tornar a mistura demasiado “seca” e difícil de compactar. Misturas com máxima dimensão do agregado superior poderão apresentar maior dificuldade no espalhamento e na compactação. O betume pode afetar a trabalhabilidade das misturas se não estiver à temperatura conveniente para a colocação e compactação. Em geral, a trabalhabilidade das misturas melhora com o aumento da percentagem em betume.

Numa perspetiva mais prática, a trabalhabilidade encontra-se relacionada com o número de passagens do compactador necessário para atingir a baridade relativa exigida. Alguns estudos indicam existir uma relação linear entre a energia de compactação no compactador giratório e o número de passagens realizadas por um cilindro. A análise das curvas de compactação obtidas no compactador giratório pode ser uma ferramenta útil na definição de parâmetros para avaliar a trabalhabilidade das misturas betuminosas [5, 6].

Diversos parâmetros têm sido indicados para medir a trabalhabilidade das misturas betuminosas. São numerosos os trabalhos desenvolvidos com o objectivo de relacionar propriedades das misturas compactadas em laboratório com a trabalhabilidade das misturas em obra. Os parâmetros são obtidos da curva de compactação. Os mais comuns correspondem às constantes obtidas de equações de ajuste ou resultantes da determinação de áreas limitadas pela curva de compactação, designados de parâmetros energéticos [6]. Os parâmetros relacionados com a espalhabilidade são definidos no início da curva de compactação, por exemplo, utilizando o valor da porosidade no início da compactação. Os parâmetros utilizados para medir a compactabilidade consideram a primeira parte da curva de compactação, até se obterem valores de compactação semelhantes aos exigidos em obra. Um outro conjunto de parâmetros é igualmente indicado para avaliar a compactação ocorrida desde a compactação de obra até valores baixos de porosidade, relacionando-os com a pós-compactação ocorrida em serviço e a estabilidade, sendo esta entendida como a resistência à deformação permanente, das misturas betuminosas.

2 ÍNDICES DE AVALIAÇÃO DA TRABALHABILIDADE

Existe uma diversidade de índices que foram propostos para avaliar as propriedades referidas anteriormente. Indicam-se em seguida alguns dos mais divulgados e determinados neste trabalho.

2.1 Parâmetros determinados de acordo com a EN 12697-10

A EN 12697-10 [7] indica a realização da modelação da curva de compactação obtida no compactador giratório utilizando a Equação (1).

$$v(ng) = v(1) - (k \times \ln(ng)) \quad (1)$$

Em que:

$v(ng)$ – Porosidade após ng giros [%];

$v(1)$ - Porosidade após 1 giro [%];

k – Inclinação da curva de compactação;

ng – Número de giros.

Os parâmetros obtidos no ajuste, $v(1)$ e k , que representam a porosidade no giro 1 e a inclinação da curva de compactação, podem ser utilizados na avaliação da espalhabilidade e compactabilidade [6].

2.2 Compaction Coefficient (CC) e Workability Index (WI)

Estes parâmetros foram propostos por Cabrera e são, na sua base, semelhantes aos parâmetros referidos na EN 12697-10 [7, 8]. A Equação (2) corresponde à equação de modelação proposta por Cabrera [8].

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

Em que:

P_i – Porosidade após i giros [%];

a – Porosidade para 1 giro [%];

b – Inclinação da curva de compactação;

N_i – Giro número i .

A espalhabilidade da mistura é relacionada pela porosidade da mistura para o giro 1, sendo avaliada através do índice WI que é determinado pela Equação (3).

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

Em que:

WI - *Workability Index*;

a – Porosidade para 1 giro [%].

O CC é definido pela Equação (4).

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

Em que:

CC – *Compaction Coefficient*;

b – Inclinação da curva de compactação.

A caracterização fornecida por estes parâmetros é semelhante à obtida utilizando os parâmetros referidos na EN 12697-10. Isto deve-se ao facto de $v(1) = a$ e $CC = 2,30 \times k$, devido à diferença entre as bases dos logaritmos usados na curva de modelação.

2.3 Compaction Slope (CS)

Nos EUA é comum os parâmetros serem referidos à curva de evolução da baridade relativa com o número de giros e não à curva da evolução da porosidade com o número de giros [9]. O CS pode ser determinado pela Equação (5).

$$CS = \frac{C_{des} - C_{ini}}{\log(N_{des}) - \log(N_{ini})} \quad (5)$$

Em que:

CS – *Compaction Slope*;

C_{des} – Baridade relativa da mistura no giro correspondente ao N_{des} [%];

C_{ini} – Baridade relativa da mistura no giro correspondente ao N_{ini} [%];

N_{des} – Número de giros para formulação;

N_{ini} – Número de giros correspondentes à compactação de obra.

Este parâmetro representa a inclinação da curva de compactação entre o N_{ini} e o N_{des} . E como o aumento da baridade se relaciona com a diminuição da porosidade, a caracterização obtida com este parâmetro será similar à obtida por k e CC . Os valores obtidos para CS correspondem aos de CC pois a inclinação da curva de evolução da compactação relativa com o número de giros é igual à inclinação da curva da evolução da porosidade com o número de giros. A diferença entre valores corresponde apenas à expressão utilizada para a sua determinação. O k apresenta valores 2,30 vezes inferiores devido à base do logaritmo utilizado na expressão de modelação.

2.4 Laboratory Compaction Index (LCI)

A utilização dos índices referidos apresenta limitações pois a compactabilidade depende simultaneamente da inclinação da curva de compactação e da porosidade inicial [5, 6, 10]. Deste modo, foram propostos parâmetros que contabilizam estas duas componentes. Um exemplo é o LCI que considera as duas constantes obtidas do ajuste da curva de compactação [11]. O LCI pode ser determinado pela Equação (6).

$$LCI = 100 \times \frac{a^{1,2}}{b} \quad (6)$$

Em que:

LCI – *Laboratory Compaction Index*;

a – Porosidade para 1 giro [%];

b – Inclinação da curva de compactação.

2.5 $k \times AV$

O $k \times AV$ representa o produto da inclinação da curva de compactação (compactação relativa – número de giros) com a porosidade obtida para a energia de formulação (N_{des}) [9]. Este parâmetro permite introduzir a inclinação da curva e a porosidade para uma determinada energia de compactação de modo a contemplar a análise de misturas com características distintas. Para misturas semelhantes é comum utilizar porosidades de formulação iguais pelo que a diferença de compactabilidade se traduz na diferença de inclinação da curva de compactação.

2.6 Compaction Energy Index (CEI) e Traffic Densification Index (TDI)

Outra abordagem corresponde à determinação de índices energéticos para caracterizar a trabalhabilidade de misturas betuminosas [6, 9, 10]. É comum a análise da curva de compactação utilizando dois parâmetros de avaliação da energia necessária à compactação da mistura, um referente à parte correspondente à compactação

em obra, que afere a compactabilidade da mistura, e outro que corresponde à compactação ocorrida em serviço, que afere a estabilidade da mistura.

Dois parâmetros que se inserem nesta abordagem são o *CEI* e o *TDI*. O *CEI* é um índice de avaliação da compactabilidade de misturas betuminosas enquanto o *TDI* pretende ser um índice de análise da sua estabilidade e, portanto, de avaliação da sua resistência à deformação permanente [6, 9].

Estes parâmetros são determinados na curva de compactação, representando o *CEI* a área sob a curva desde o giro 8 até ao giro onde se atinge 92% da BMT (baridade máxima teórica). O *TDI* representa a área entre o giro onde se atinge uma baridade de 92% da BMT até ao giro onde se atinge 98% da BMT. Estes índices podem ser determinados utilizando as Equações (7) e (8).

$$CEI = \sum_{i=N8}^{i=N(C=92\%)} (C_{Ni} - C_{N8}) \quad (7)$$

$$TDI = \sum_{i=N(C=92\%)}^{i=N(C=98\%)} (C_{Ni} - C_{N(C=92\%)}) \quad (8)$$

Em que:

CEI – Compaction Energy Index;

TDI – Traffic Densification Index;

C – Compactação relativa como percentagem da BMT;

C_{Ni} – Compactação relativa como percentagem da BMT no giro número *i*;

N - Número do giro.

2.7 Mix Stability Index (MSI) e Mix Resistance Index (MRI)

Estes índices são índices energéticos e são determinados de modo semelhante ao indicado para o *CEI* e *TDI*. Uma diferença relativamente aos índices anteriores é a utilização da curva porosidade-giros, determinando-se a área acima da curva. O *MSI* é determinado do giro 8 até ao giro correspondente a 98% da baridade Marshall, enquanto o *MRI* é determinado deste este giro até ao giro correspondente à porosidade Marshall subtraída de 2,5%. Estes índices foram propostos para avaliar a estabilidade e compactabilidade em conjunto com a formulação de misturas betuminosas pelo método de Marshall [6].

3 TRABALHO EXPERIMENTAL

Realizou-se a compactação de duas misturas betuminosas distintas num compactador giratório de modo a obter as curvas de compactação. O compactador giratório mede a altura do provete no processo de compactação, o que permite estimar a evolução da compactação durante o processo. As misturas selecionadas foram um AC 20 (MB) e uma mistura SMA 12,5. As misturas foram produzidas com agregados graníticos e filer calcário comercial. O betume utilizado foi da classe 35/50. Para a mistura SMA 12,5 foram adicionadas fibras celulósicas numa quantidade de 0,3% da massa total da mistura. As curvas granulométricas das misturas apresentam-se na Fig. 1.

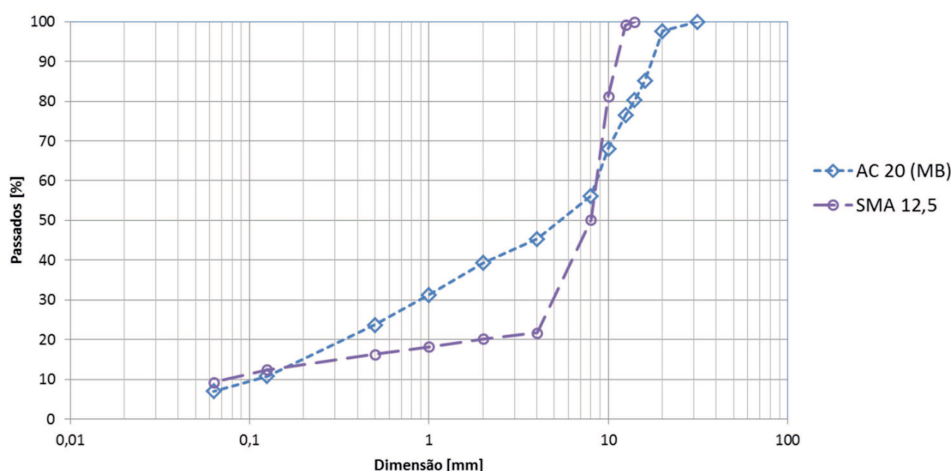


Fig.1. Granulometria das misturas AC 20 (MB) e SMA 12,5.

As misturas foram produzidas a uma temperatura de aproximadamente 155°C. Na mistura SMA 12,5 as fibras foram misturadas com o agregado antes de se adicionar o betume. As misturas foram condicionadas em estufa a uma temperatura de 145°C, tendo depois sido compactadas no compactador giratório.

O compactador giratório aplica uma pressão de 600 kPa no topo do provete. Este gira a uma velocidade de 30 r.p.m com o eixo do provete desviado de um ângulo de 1,25° com a vertical (ângulo interno de 1,16°). A energia de compactação é definida pelo número de giros a que o provete é submetido. Os provetes obtidos têm 150 mm de diâmetro e 115 mm de altura. Os provetes de mistura AC 20 (MB) foram submetidos a uma energia de compactação de 125 giros. Utilizaram-se, para a mistura AC 20 (MB), percentagens em betume de 3,5% a 5,5% com intervalos de 0,5%. Para a mistura SMA 12,5 foi utilizado um nível de compactação de 100 giros. As percentagens em betume utilizadas foram de 5,0% a 7,5% com intervalos de 0,5%. Foi utilizado um procedimento de envelhecimento de curto prazo de acordo com a norma AASHTO R 30, após a amassadura as misturas foram acondicionadas durante duas horas à temperatura de compactação previamente à produção dos provetes [12]. Durante a compactação foi medida a altura do provete. O equipamento utilizado, Controls ICT 76-B0252, registou a altura do provete nos giros 4, 5, 6, 8, 10, 12, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 64, 80, 100 e 125; este último valor apenas foi atingido para a mistura AC 20 (MB). Foi determinada a baridade para cada medição da altura. O valor da baridade do provete para cada giro foi determinado utilizando a Equação (9). Após este procedimento foi realizada a modelação da curva utilizando equação adequada à determinação dos diferentes parâmetros. Para determinar os índices energéticos utilizou-se a curva modelada Equação (1).

$$C_i = \frac{\rho_b \cdot h_m}{BMT \cdot h_i} \quad (9)$$

Em que:

C_i – Compactação relativa em percentagem da baridade máxima teórica no giro i ;

ρ_b – Baridade final da mistura (determinada experimentalmente);

BMT – Baridade máxima teórica;

h_m – Altura final do provete;

h_i – Altura do provete indicada pelo equipamento no giro i .

4 RESULTADOS

Dividiram-se os resultados dos índices conforme o seu objetivo para a caracterização das misturas betuminosas. Assim, apresentam-se separadamente os valores obtidos para os parâmetros que pretendem caracterizar a espalhabilidade, a compactabilidade e a estabilidade.

4.1 Espalhabilidade

Conforme indicado acima, a caracterização resultante da utilização de WI e $v(I)$ é semelhante pois os valores são obtidos pela estimativa da porosidade no início da compactação [10]. Os resultados obtidos apresentam-se na Fig. 2 e Fig. 3. Valores superiores de WI e inferiores de $v(I)$ indicam melhor espalhabilidade. Pode observar-se que a mistura SMA apresenta valores de porosidade inicial, $v(I)$, mais elevados que a mistura AC 20 (MB), correspondendo a valores mais baixos de WI .

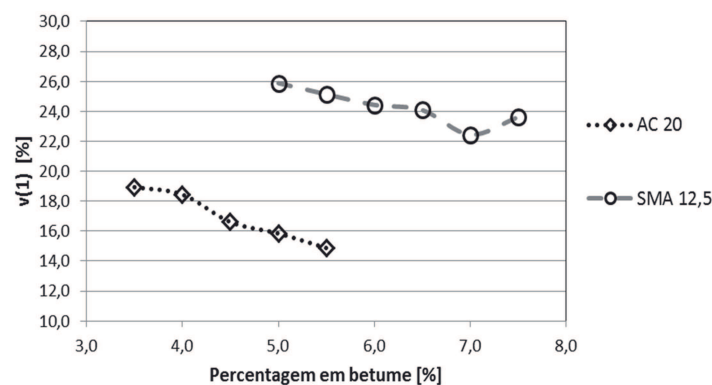


Fig.2. Valores de $v(I)$ obtidos para as misturas AC 20 (MB) e SMA 12,5.

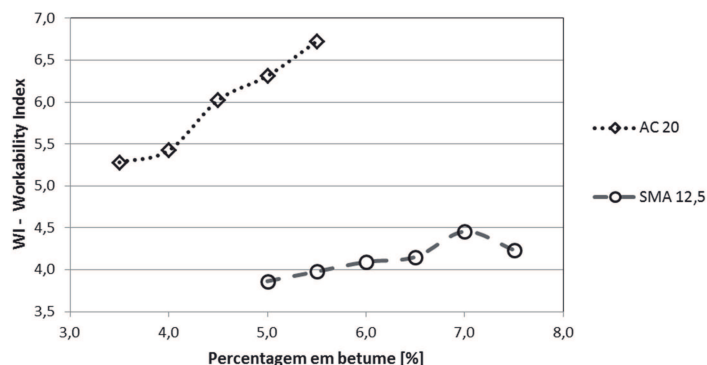


Fig.3. Valores de *WI* obtidos para as misturas AC 20 (MB) e SMA 12,5.

Estes índices não se apresentam adequados a diferenciar a espalhabilidade de misturas de diferente tipologia [6, 10]. No caso da mistura SMA 12,5 a melhoria da espalhabilidade com o aumento da percentagem em betume pode advir do simples aumento da percentagem em betume e não da obtenção de estruturas dos agregados mais compactas. Na mistura AC 20 (MB) a evolução da espalhabilidade é mais evidente e indicia que com o aumento da percentagem em betume se obtêm inicialmente misturas com estruturas mais compactas. A comparação de valores para misturas de diferentes tipologias não é possível pois a porosidade inicial é significativamente diferente.

4.2 Compactabilidade

Existem diversos parâmetros destinados a aferir a compactabilidade das misturas. Entre estes encontram-se os que representam a inclinação da curva de compactação (%BMT-giros ou porosidade-giros). Deste modo as classificações obtidas por *CS*, *CC* e *k* são similares, apenas variando o modo como se faz a modelação da curva de compactação (ver Fig. 4 a Fig. 6). Como referido os valores de *CS* e *CC* são semelhantes e 2,30 vezes superiores aos de *k*. Estes índices são úteis na análise de misturas com características semelhantes, não sendo adequados à comparação de misturas que apresentam porosidades iniciais diferentes. A compactabilidade melhora com o aumento dos valores destes parâmetros. Deste modo, a compactabilidade da mistura AC 20 (MB) melhorou com o aumento da percentagem em betume. Para a mistura SMA 12,5 não se observou uma tendência evidente na evolução da compactabilidade com a variação da percentagem em betume.

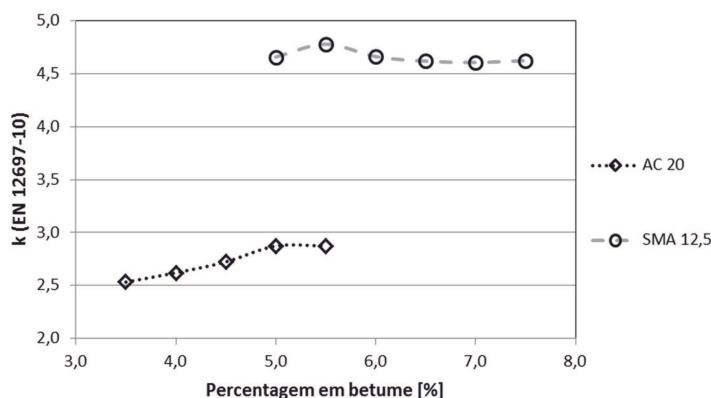


Fig.4. Valores de *k* obtidos para as misturas AC 20 (MB) e SMA 12,5.

Para obviar a limitação decorrente da utilização da inclinação da curva de compactação, que não permite comparar misturas com diferentes porosidades iniciais, foram desenvolvidos parâmetros que incluem a inclinação da curva de compactação e a porosidade inicial ou após determinada energia de compactação. Entre estes determinaram-se o *kxAV* e o *LCI* (Fig. 7 e Fig. 8). Pode observar-se que o *kxAV* permite diferenciar o comportamento das misturas, em função da percentagem em betume, de forma evidente, obtendo-se tendências claras de evolução dos valores (Fig. 7). Observa-se uma tendência clara de diminuição dos valores de *kxAV* com o aumento da percentagem em betume com os valores para ambas as misturas a apresentarem-se dentro da

mesma ordem de grandeza. Para cada mistura a ordenação dos valores apresenta-se coerente, com a compactabilidade a melhorar com a percentagem em betume (valores de $kxAV$ menores), no entanto, quando se comparam as duas misturas a ordenação não corresponde ao observado experimentalmente. Para o LCI a diferença entre percentagens em betume é mais evidente para a mistura AC 20 (MB).

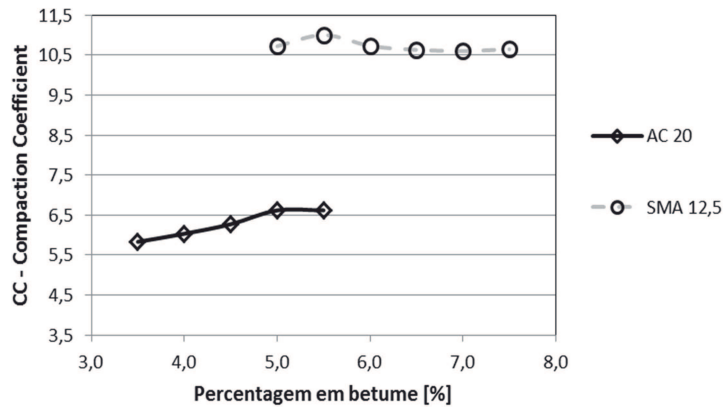


Fig.5. Valores de CC obtidos para as misturas AC 20 (MB) e SMA 12,5.

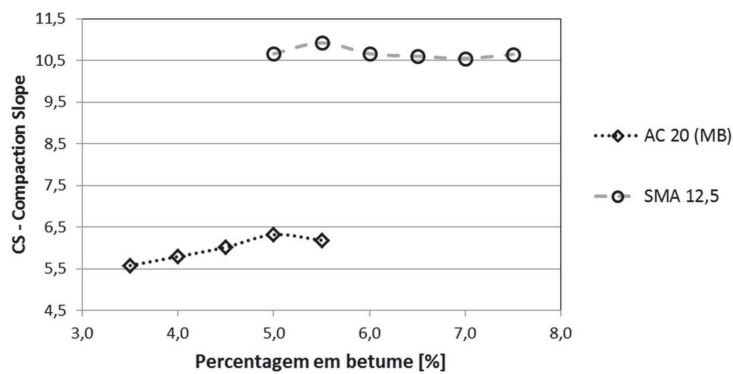


Fig.6. Valores de CS obtidos para as misturas AC 20 (MB) e SMA 12,5.

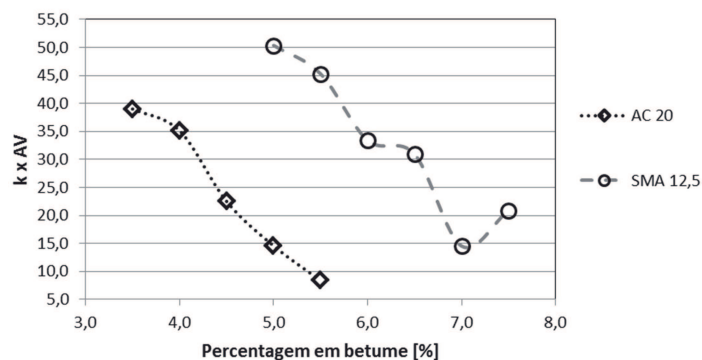


Fig.7. Valores de $kxAV$ obtidos para as misturas AC 20 (MB) e SMA 12,5.

A mistura SMA 12,5 apresenta sempre melhor compactabilidade, valores de LCI mais elevados. A diferenciação entre percentagens em betume, para a mistura SMA 12,5, é menos evidente que a ocorrida para a mistura AC 20 (MB). Esta menor variação da compactabilidade para a mistura SMA 12,5 com a percentagem em betume corresponde à ao observado em laboratório durante o processo de compactação. Os resultados obtidos pelo LCI aproximam-se mais do observado empiricamente na compactação laboratorial, quando comparados com os resultados de outros índices, apesar de a comparação da compactabilidade entre as misturas se apresentar insatisfatória.

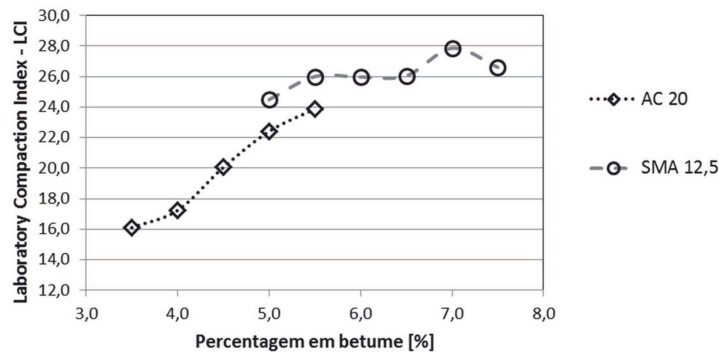


Fig.8. Valores de *LCI* obtidos para as misturas AC 20 (MB) e SMA 12,5.

Foram determinados dois índices energéticos, o *CEI* e o *MSI* (Fig. 9 e Fig. 10). Para estes índices um menor valor corresponde a melhor compactabilidade. Os resultados obtidos para o *CEI* apresentam-se mais coerentes do que os obtidos para o *MSI*. Ambos os índices apresentam a caracterização esperada para a mistura AC 20 (MB). No entanto, para a mistura SMA 12,5 os resultados do *CEI* apresentam-se mais coerentes e ajustados ao observado experimentalmente.

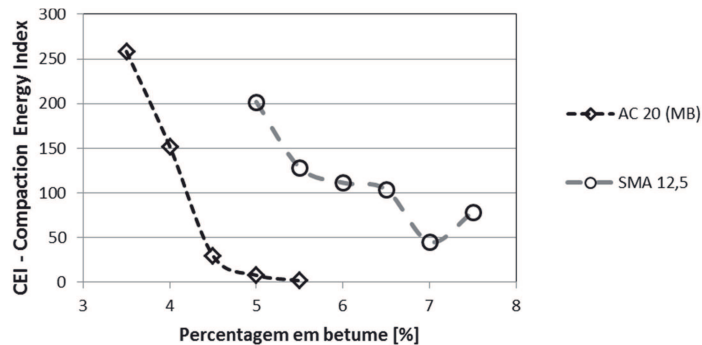


Fig.9. Valores de *CEI* obtidos para as misturas AC 20 (MB) e SMA 12,5.

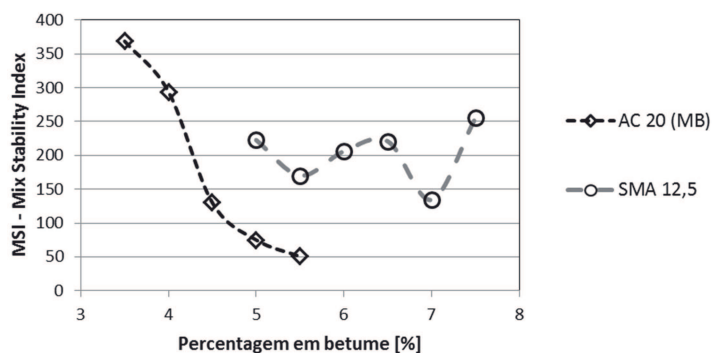


Fig.10. Valores de *MSI* obtidos para as misturas AC 20 (MB) e SMA 12,5.

4.3 Estabilidade

Os índices energéticos determinados para níveis elevados de compactação, superiores aos exigidos em obra, procuram estimar a resistência à compactação pelo tráfego e, de modo indireto, a estabilidade da mistura, entendida como a resistência à deformação permanente. Valores mais elevados dos parâmetros correspondem a maior estabilidade. A caracterização obtida pelo *TDI* e pelo *MRI* foi muito semelhante (Fig. 11 e Fig. 12). Uma maior percentagem em betume corresponde a uma menor estabilidade. A mistura AC 20 (MB) apresentou maiores estabilidades, principalmente para percentagens em betume mais baixas. A mistura SMA 12,5 apresentou em geral estabilidades baixas. Embora estes resultados correspondam ao observado experimentalmente, a utilização destes índices para avaliar a resistência à deformação permanente deve ser

analisada cuidadosamente, pois a compactação processa-se a temperaturas muito superiores às de serviço, pelo que a contribuição do betume pode não ser devidamente avaliada [10]. Outro inconveniente da utilização destes índices advém da necessidade de compactar os provetes até se atingirem valores de porosidade muito baixos. Assim, é necessário obter valores de porosidade de 2% para determinar o *TDI*, e de 1,5% para determinar o *MRI* (especificamente para a mistura SMA 12,5 para a qual se utilizou uma porosidade de formulação de 4%). Para a determinação do *MRI* a porosidade limite pode apresentar valores significativamente baixos. Atendendo à gama aceitável de porosidades para misturas densas, isto implica considerar valores finais de porosidade de 1,5% ou mesmo 1,0%. Estes são valores de porosidade muito baixos que podem ter uma influência indesejável na resistência à deformação permanente [4]. É em muitos casos inexequível atingir esses valores em laboratório, mesmo para energias de compactação muito elevadas. Isto implica a necessidade de realizar a extrapolação da curva de compactação, o que pode introduzir desvios nos valores obtidos.

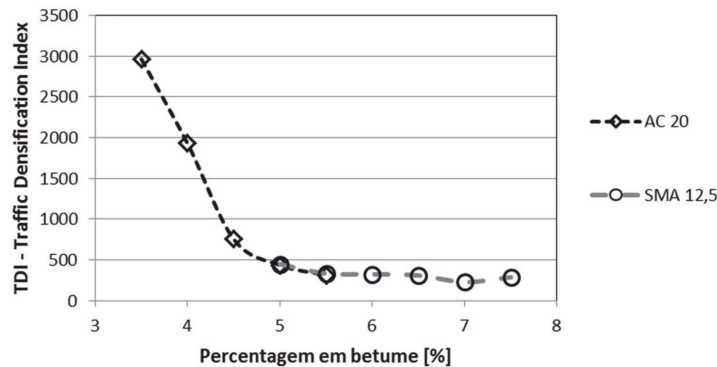


Fig.11. Valores de *TDI* obtidos para as misturas AC 20 (MB) e SMA 12,5.

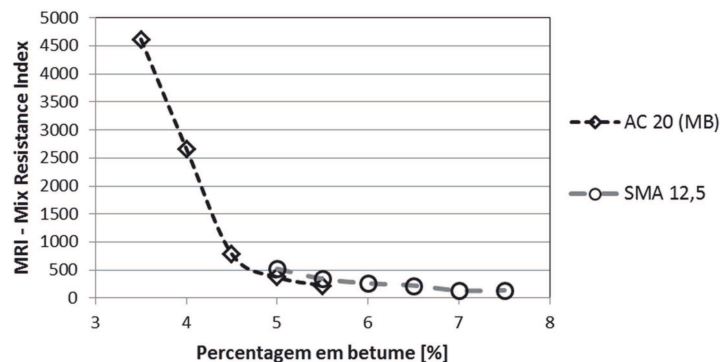


Fig.12. Valores de *MRI* obtidos para a mistura AC 20 (MB) e SMA 12,5.

5 CONCLUSÕES

A análise da evolução da compactação permite caracterizar algumas propriedades das misturas betuminosas, como sejam, a espalhabilidade, a compactabilidade e a sua estabilidade.

A caracterização da espalhabilidade realizada pelo *WI* ou $v(I)$ é semelhante e apresentou resultados mais coerentes para a mistura AC 20 (MB). A comparação de misturas de diferentes tipologias não é possível.

Existe um grande número de parâmetros para caracterizar a compactabilidade das misturas betuminosas embora o seu significado seja em muitos casos semelhante. A variação da compactabilidade mostrou-se maior na mistura densa, como observado experimentalmente. A caracterização obtida com o *CC*, o *CS* e o *k* é semelhante pois estes índices representam a inclinação da curva de compactação, variando o modo como se realiza a modelação da curva. A inclinação da curva de compactação permite comparar a compactabilidade de misturas com granulometria semelhante, revelando incapacidade de caracterizar misturas com porosidades iniciais diferentes. Parâmetros como o *LCI* e o $kxVA$ apresentam resultados mais coerentes na caracterização de misturas de

diferentes tipologias. Entre os parâmetros energéticos, o *CEI* apresentou os resultados mais consistentes, oferecendo a melhor caracterização para cada mistura individualmente e na comparação das duas misturas.

A avaliação da estabilidade não aparenta poder substituir uma avaliação concreta à deformação permanente. A caracterização obtida pelo *TDI* e *MRI* foi muito semelhante. A determinação destes índices obriga à utilização de energias de compactação exageradas ou à realização de extrapolações significativas da curva de compactação, o que pode conduzir a uma menor representatividade dos resultados.

A utilização destes índices permite incluir na formulação de misturas betuminosas a avaliação de propriedades que são descuradas e que podem ser relevantes num grande número de aplicações. A avaliação da compactabilidade, por exemplo utilizando o *CEI*, pode ser relevante em vias com tráfego mais ligeiro e obras realizadas com equipamentos mais simples. Para vias com níveis de tráfego mais elevados a utilização destes índices pode igualmente ser considerada, pois uma compactabilidade adequada facilita a obtenção das propriedades desejadas para as misturas betuminosas no pavimento. Apesar de existirem limitações na utilização deste tipo de parâmetros na avaliação da estabilidade, os valores do *TDI* para a mistura densa AC 20 (MB) corresponderam à variação da sua resistência à deformação permanente. Assim, poderá ser possível realizar uma avaliação da estabilidade das misturas betuminosas com este índice, embora deva ser limitada a pavimentos com tráfego mais ligeiro. Os índices determinados apresentam em geral melhores resultados na caracterização da mistura AC 20 (MB), exibindo resultados mais adequados para misturas densas.

6 REFERÊNCIAS

1. F. Branco., P. Pereira, L. Picado Santos, *Pavimentos Rodoviários*, Edições Almedina, Coimbra, 2005.
2. J. Cabrera, Assessment of the Workability of Bituminous Mixtures, *Journal of Highways and Transportation*, Vol. 11, pp. 17-23, 1991.
3. W. Kari, Mix properties as they affect compaction. Asphalt paving technology, *Proceedings: Association of Asphalt Paving Technologists Technical Sessions*, 36. pp. 295–309, 1967.
4. R. Cominsky, R. Leahy, E. Harrigan, *Level One Mix Design: Materials Selection, Compaction, and Conditioning*, Report SHRP-A-408, Strategic Highway Research Program, Washington D.C., 1994.
5. Austroads, *Development of an Asphalt Workability Index: Pilot Study*, Austroads Publication No. AP–T59/06, Austroads, Sidney, 2006.
6. M. DelRio-Prat, A. Vega-Zamanillo, M. Calzada-Perez, E. Sanchez-Alonso, D. Castro-Fresno, Procedimiento para la Medida de la Compactabilidad de las Mezclas Bituminosas en Laboratorio, *XVI Congreso Ibero-Latinoamericano de Asfalto*, Rio de Janeiro, 20-25 de Novembro, 2011.
7. CEN, *Bituminous mixtures - Test methods for hot mix asphalt - Part 10: Compactability*, European Standard EN 12697-10:2001, Comité Européen de Normalisation, Brussels, 2006.
8. J. Cabrera, Hot Bituminous Mixtures – Design for Performance, *Performance and Durability of Bituminous Materials, Proceedings of Symposium*, University of Leeds, 1996, Edited by J.G. Cabrera and J.R. Dixon.
9. R. Anderson, P. Turner, R. Peterson, R. Mallick, *Relationship of Superpave Gyrotory Compaction Properties to HMA Rutting Behavior*, NCHRP Report 478, National Cooperative Highway Research Program, Transportation Research Board, Washington, D.C., 2002.
10. D. Gardete, L. Picado Santos, S. Capitão, Influência da energia de compactação giratória nas propriedades volumétricas e na resistência à deformação permanente de misturas betuminosas, *Congresso Ibero-Latinoamericano del Asfalto*, Antigua Guatemala, 17 a 22 de novembro, 2013.
11. K. Emad, T. Scullion, E. Masad, A. Chowdhury, W. Liu, C. Estakhri, S. Dessouky, *Comprehensive Evaluation of Compaction of Asphalt Pavements and Development of Compaction Monitoring System*, Report FHWA/TX-12/0-6992-2, Texas Transportation Institute, Texas Department of Transportation, Austin, 2012.
12. 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.