

FORMULAÇÃO VOLUMÉTRICA DE MISTURAS BETUMINOSAS TRADICIONAIS PORTUGUESAS: ANÁLISE DE PROCEDIMENTOS IMPLEMENTADOS NOUTROS PAÍSES

Dinis Correia Gardete
Escola Superior de Tecnologia de Castelo Branco
Castelo Branco, Portugal
dgardete@est.ipcb.pt

Luís Picado Santos
Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra
Coimbra, Portugal
picsan@dec.uc.pt

Silvino Capitão
Instituto Superior de Engenharia de Coimbra
Coimbra, Portugal
capitao@mail.isec.pt

Resumo

A necessidade de métodos de formulação de misturas betuminosas mais eficazes, que permitissem colmatar as lacunas dos métodos empíricos, como o método de Marshall, levou à procura de novas soluções que dêem maior ênfase ao desempenho das misturas betuminosas. Como exemplo pode referir-se a adopção da metodologia SUPERPAVE nos Estados Unidos da América (EUA) ou o método de formulação utilizado em França. Na metodologia SUPERPAVE a formulação das misturas betuminosas é realizada através das suas propriedades volumétricas, determinadas em provetes produzidos num compactador giratório, não tendo como base qualquer ensaio de determinação de propriedades mecânicas das misturas. No entanto, a possibilidade de variar os parâmetros de formulação e simular de modo mais adequado a compactação que ocorre em obra, permite obter misturas com melhor desempenho quando em serviço. Para atingir esse objectivo, a definição dos parâmetros de formulação que melhor permitam simular o comportamento das misturas em serviço é fundamental, pois estes podem variar com o tipo de mistura, o tráfego previsto e as temperaturas de serviço. Este trabalho procura avaliar a adequação do método de formulação volumétrico às propriedades dos componentes e misturas correntemente utilizados em Portugal atendendo à experiência existente com o compactador giratório noutros países. Indicam-se algumas recomendações com vista a uma possível aplicação duma nova metodologia de formulação de misturas betuminosas em alternativa ao procedimento indicado na recente normalização adoptada em Portugal, que mantém o método de Marshall complementado por um estudo de sensibilidade à água e por outro de avaliação do comportamento da mistura em simulador de tráfego em laboratório.

INTRODUÇÃO

Em Portugal o método de Marshall é utilizado na formulação de misturas betuminosas. Apesar da longa experiência na utilização deste método ele apresenta algumas desvantagens significativas. As mais importantes prendem-se com o facto de ser um método empírico que

não permite obter nenhum parâmetro que se relacione com as características fundamentais no desempenho das misturas betuminosas quando em serviço. Na nova normalização portuguesa relativa à formulação de misturas betuminosas continua a ser prevista a utilização do método de Marshall, introduzindo-se a necessidade de submeter a mistura a um teste de durabilidade e a um ensaio que permite indiciar o desempenho à deformação permanente para a definição final da sua formulação.

Devido às limitações inerentes ao método de Marshall, nos EUA foi desenvolvida a metodologia SUPERPAVE. Esta metodologia desenvolveu novas especificações para betumes, agregados e misturas betuminosas procurando incorporar nas diversas especificações os parâmetros mais importantes no desempenho das misturas betuminosas. Uma das abordagens inovadoras foi na metodologia de formulação de misturas betuminosas. Foram definidos 3 níveis de formulação que dependem do tráfego previsto para a via. O primeiro nível de formulação é aquele em que se procede à determinação da percentagem em betume óptima na mistura determinada através das propriedades volumétricas, utilizando provetes compactados no compactador giratório. Os outros dois níveis de formulação compreendem ensaios mecânicos e de desempenho das misturas, como sejam, a resistência à deformação permanente, resistência à fadiga ou a determinação do módulo de deformabilidade. Para misturas betuminosas utilizadas em pavimentos com tráfego leve a médio apenas é utilizado o nível 1 de formulação, para tráfego pesado utiliza-se o nível 1 e o nível 2, para tráfegos muito pesados as misturas são submetidas aos 3 níveis de formulação.

Apesar de ter sido desenvolvida originalmente nos EUA, o seu uso tem-se difundido em diversos países, encontrando-se actualmente já implementada no Canada e Austrália, estando igualmente a ser avaliada em diversos países da América Central e do Sul. Procura-se neste trabalho fazer uma avaliação deste método e da possibilidade de o implementar em Portugal analisando possíveis vantagens e desvantagens.

COMPACTADOR GIRATÓRIO

A formulação de misturas betuminosas utilizando o compactador giratório não é recente. De facto, em 1939, nos EUA foi desenvolvido no estado do Texas um compactador giratório para a formulação de misturas betuminosas. O objectivo pretendido seria obter um compactador que pudesse simular do melhor modo em laboratório a compactação obtida em obra (Harman et al., 2002). Embora este compactador tenha sido normalizado em 1946, os métodos de formulação adoptados pelas das administrações rodoviárias nos EUA foram o método de Hveem e, principalmente, o método de Marshall (Roberts et al., 2002).

Em 1950, por influência do compactador giratório do Texas, o Corpo de Engenheiros do Exército dos EUA concebeu um novo compactador giratório, o qual viria a ser conhecido como Gyrotory Test Machine (GTM). Como base do desenvolvimento deste equipamento esteve a observação de que o compactador Marshall não simulava do modo mais conveniente a compactação obtida em obra. Este equipamento tinha uma característica particular na medida em que o ângulo de compactação efectivo variava durante o processo de compactação por ser permitida liberdade na rotação ao molde. Na Europa foram igualmente desenvolvidos modelos de compactadores giratórios, nomeadamente em França pelo LCPC (Harman et al., 2002). O compactador giratório francês viria a ser incluído no processo de optimização da formulação de misturas betuminosas.

Em 1987 foi iniciado nos EUA o programa SHRP que procura desenvolver novos critérios e métodos de ensaio, baseados no desempenho, para o betume asfáltico. Este programa seria estendido em 1990 para as misturas betuminosas através da iniciativa AAMAS (*Asphalt-Aggregate Mixture Analysis System*) que identificou os equipamentos de compactação giratória (GTM e o compactador giratório do Texas) como aqueles que melhor simulariam a compactação de obra. No entanto, avaliações realizadas no âmbito da FHWA mostraram que estes equipamentos tinham algumas deficiências para uma utilização prática, nomeadamente o custo elevado do GTM e o elevado ângulo de compactação do compactador giratório do Texas, o qual tornava a compactação muito rápida (Harman et al., 2002). Para resolver estas questões desenvolveu-se um novo modelo que viria a ser conhecido como SUPERPAVE Giratory Compactor, SGC, e que foi adoptado para a formulação de misturas betuminosas. Neste compactador a energia de compactação é definida pelo número de rotações, o ângulo de compactação e a pressão aplicada no topo do provete. Por se poder regular estes três parâmetros é possível assegurar um melhor controlo na energia de compactação no SGC quando comparado com os métodos habitualmente utilizados. Na metodologia SUPERPAVE o ângulo de compactação externo adoptado foi de 1,25°, a pressão de compactação de 600 kPa e o provete roda com uma frequência de 30 rotações por minuto. A energia de compactação utilizada é definida pelo número de rotações a que se submete o provete. Estes são cilíndricos com 150 mm de diâmetro e 115 mm de altura.

Durante os estudos realizados com os primeiros compactadores giratórios do tipo SGC de diferentes fabricantes observaram-se diferenças na energia de compactação. Estas diferenças foram atribuídas ao ângulo de compactação, embora todos os equipamentos utilizassem o mesmo ângulo externo de compactação foram encontradas diferenças no ângulo interno (Buchanan et al., 2004). Foi estabelecido que o controlo de compactação devia ser realizado controlando o ângulo interno, pois o controlo do ângulo externo não garantia a uniformidade desejada. Análises realizadas aos equipamentos SGC mais comuns indicaram que um ângulo externo de 1,25° corresponde a um ângulo interno de 1,16° (Prowell et al., 2003; Al-Khaateb et al., 2002). As recomendações mais recentes indicam que a compactação deverá ser realizada utilizando um ângulo dinâmico interno de 1,16° (NCHRP, 2007).

O compactador giratório é considerado como o método de compactação que melhor simula a compactação obra. No entanto, estudos recentes realizados utilizando a tomografia computadorizada, a qual permite analisar a estrutura interna das misturas betuminosas, indicam que embora o volume de vazios obtido por compactação giratória seja semelhante ao de obra, a sua distribuição nos provetes não é uniforme pelo que não existe uma reprodução exacta da compactação de obra. A análise da estrutura interna dos provetes indica que o volume de vazios é mais elevado nos topos e menor no centro dos provetes, sendo essa diferença mais acentuada perto do eixo do provete (Partl et al., 2003; Masad et al., 1999). Esta diferença pode resultar do facto de a proximidade das placas de carregamento impedir o movimento dos agregados dificultando a compactação (Thyagarajan et al., 2009). Esta não homogeneidade pode colocar alguns limites à utilização de provetes de compactação giratória para a realização de ensaios de avaliação de desempenho. No entanto, este problema é comum à generalidade dos métodos de compactação utilizados em laboratório, como seja, o compactador Marshall (Partl et al., 2007). Apesar destas indicações, alguns autores denotam que o método de compactação giratória em laboratório permite obter provetes com um desempenho semelhante aos de obra (Peterson et al., 2004; Khan et al., 1998).

Um dos aspectos em que se observou uma diferença entre o método de compactação por impactos sucessivos e o de compactação giratória foi na evolução da porosidade, que é quase

linear com o número de golpes no compactador Marshall mas significativamente não linear com o número de rotações no compactador giratório. Neste, o número de vazios diminui rapidamente no início da compactação mostrando depois uma evolução mais lenta com o aumento do número de rotações. Outra questão relevante deve-se à compactação por impacto dos provetes Marshall causar uma maior ocorrência de fracturas do agregado grosso durante o processo de compactação (Partl et al., 2007). Ao invés, no compactador giratório essa degradação não é significativa (Masad et al., 1999; Xie et al., 2005).

MÉTODO NORTE-AMERICANO SUPERPAVE

O método SUPERPAVE obtém a percentagem óptima em betume a utilizar na mistura betuminosa através da análise das propriedades volumétricas dos provetes compactados no compactador giratório. O controlo da energia de compactação é realizado pelo número de rotações. As primeiras especificações definiram 3 níveis de compactação:

- N_{inicial} é o número de rotações que se considera permitir obter a compactação de obra. Se o volume de vazios após o N_{inicial} for muito baixo isso significa que a mistura compactou muito depressa pelo que pode apresentar problemas de estabilidade em serviço.

- N_{design} é o número de rotações 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. As especificações indicam que para as misturas utilizadas no sistema SUPERPAVE o volume de vazios para N_{design} deve ser de 4%, sendo este o objectivo da formulação das misturas.

- N_{max} é o número de rotações que simula um esforço de compactação que se espera nunca ser ultrapassado no pavimento em serviço. Se o volume de vazios para N_{max} estiver abaixo de 2% é possível que a mistura apresente problemas de estabilidade pelo que deve ser rejeitada.

As primeiras especificações definiam 28 valores diferentes para N_{design} , conforme o tráfego e a temperatura prevista para o pavimento. No entanto, alguns estudos revelaram que a diferença nas propriedades volumétricas obtidas entre os níveis de compactação para diferentes temperaturas era muito pequena, facto que se deve à utilização de betumes mais viscosos para temperaturas mais elevadas (Brown e Buchanan, 2001). Deste modo, o número de níveis de formulação foi reduzido para apenas quatro que diferem com o tráfego esperado para o pavimento, (Quadro 1).

Quadro 1: Número de rotações para N_{inicial} , N_{design} e N_{max} (Brown e Buchanan, 2001)

Tráfego 20 anos (em milhões de eixos equivalentes 80 kN)	Número de Rotações		
	N_{inicial}	N_{design}	N_{max}
< 0,3	6	50	75
0,3 a < 3	7	75	115
3 a < 30	8	100	160
≥ 30	9	125	205

A percentagem óptima de betume é determinada como a que permite obter um volume de vazios de 4% para uma energia de compactação de N_{design} . A mistura seleccionada tem que cumprir os limites especificados para diversas propriedades volumétricas, nomeadamente, o VMA (vazios no esqueleto do agregado), VFB (vazios preenchidos por betume) e a relação filer/betume (Quadro 2). Refira-se que o nível 1 de formulação de misturas no método

SUPERPAVE não utiliza qualquer ensaio mecânico. O desempenho das misturas, para tráfegos leves e médios, é assegurado através da definição das propriedades do betume e dos agregados, e de propriedades volumétricas que as misturas devem cumprir.

Quadro 2: Propriedades volumétricas para misturas SUPERPAVE (Brown e Buchanan, 2001)

Tráfego 20 anos (em milhões de eixos equivalentes 80 kN)	Grau de Compactação (definido como % da baridade máxima teórica)			VMA (mínimo, %)					VFB (%)	Filer/betume
	N _{inicial}	N _{design}	N _{max}	Dimensão máxima do agregado (mm)						
				37,5	25,0	19,0	12,5	9,5		
<0,3	≤91,5	96,0	≤98,0	11,0	12,0	13,0	14,0	15,0	70-80	0,6 a 1,2
0,3 a <3	≤90,5								65-78	
3 a 30	≤89,0								65-75	
≥30										

Diversos estudos referem que a percentagem óptima de betume obtida pelo método de Marshall é superior à que se obtém pela metodologia SUPERPAVE (Neubauer e Partl, 2004; Ibrahim, 2007). Esta diferença deve-se ao facto de os valores definidos para N_{design} fornecerem elevadas energias de compactação. Consequentemente as misturas exibem maior resistência à deformação permanente mas a sua resistência à fadiga diminuiu. Alguns autores indicam que para se obter misturas com um melhor equilíbrio no seu desempenho os valores de N_{design} devem situar-se entre 75 e 85 rotações (Prozzi e Aguiar, 2007; Xie et al., 2005). Outros estudos, que compararam as misturas obtidas utilizando os valores do Quadro 1 com os de campo, revelaram que os valores de N_{design} indicados no Quadro 1 eram superiores ao necessário para obter a compactação nos pavimentos em serviço, que em média apresentava valores superiores em 1,5 pontos percentuais aos obtidos no compactador giratório. Observou-se igualmente não existir relação entre o grau de compactação em N_{inicial} e N_{max} com a resistência à deformação permanente das misturas (NCHRP, 2007).

Como referido, a compactação no compactador giratório é não linear, reduzindo-se a evolução da compactação com o número de rotações. Deste modo, surgiu o conceito do “locking point” como sendo o número de rotações para o qual em três rotações sucessivas a altura do provete não diminui mais de 0,1mm. Este representa um estado em que os agregados da mistura se encontram com uma estrutura bastante intrincada pelo que aumenta a sua resistência à compactação, tornando-se ineficiente continuar a compactação. Estudos indicam que o “locking point” para misturas SUPERPAVE geralmente se situa entre 60 e 90 rotações.

Devido aos diversos factores referidos anteriormente foi proposta uma redução de N_{design} pelo NCHRP (NCHRP, 2007), tal como se indica no Quadro 3.

É fundamental analisar o N_{design} e o volume de vazios de formulação para se obterem misturas com bom desempenho. As misturas utilizadas em pavimentos com tráfegos mais ligeiros apenas estão sujeitas a este procedimento de formulação pelo que a utilização de parâmetros inadequados de formulação resultará na utilização de misturas com desempenho insuficiente. As misturas utilizadas em pavimentos com tráfegos mais pesados são submetidas a ensaios de desempenho pelo que misturas com desempenho insuficiente serão rejeitadas. Consequentemente, se os parâmetros utilizados na formulação não forem adequados poderão obter-se frequentemente misturas que serão rejeitadas em ensaios de desempenho, o que terá o

inconveniente de tornar mais demorado e oneroso o processo de formulação de misturas. Refira-se que os valores recomendados se referem a misturas SUPERPAVE, que são misturas fechadas, havendo necessidade de definir novos valores para misturas abertas, SMA ou outras.

Quadro 3: Proposta do NCHRP para os níveis de N_{design} (NCHRP, 2007)

Tráfego 20 anos (em milhões de eixos equivalentes 80 kN)	Tráfego 2 anos (em milhões de eixos equivalentes 80 kN)	N_{design} para betumes < PG 76-XX*	N_{design} para betumes \geq PG 76- XX* ou misturas a mais de 100 mm da superfície
< 0,3	< 0,03	50	NA
0,3 a < 3	0,03 a < 0,23	65	50
3 a < 10	0,23 a < 0,925	80	65
10 a < 30	0,925 a < 2,5	80	65
≥ 30	$\geq 2,5$	100	80

* Betumes asfálticos em que a sua classificação de desempenho (*Performance Grade*) nas especificações SUPERPAVE para a temperatura de serviço mais elevada é de 76°C podendo ter qualquer classificação para a temperatura mais baixa.

MÉTODO FRANCÊS

O compactador giratório tem uma longa experiência de utilização em França devido aos desenvolvimentos realizados pelo LCPC. Deste modo, apesar de a formulação de misturas em França não ter como elemento fundamental os resultados do compactador giratório, ele é utilizado como uma peça fundamental para avaliar a compactabilidade das misturas. Refira-se que a filosofia da metodologia francesa assenta fundamentalmente na definição de valores de desempenho exigidos às misturas betuminosas, afastando-se dos tradicionais métodos que assentam nas “receitas de composição”. Deste modo, a estimativa inicial da percentagem de betume é determinada utilizando uma expressão matemática, sendo a mistura obtida posteriormente submetida a diversos ensaios. O número de ensaios a realizar varia com a classe de tráfego prevista para o pavimento e o tipo de mistura.

O ensaio de compactação é realizado num compactador giratório seguindo procedimentos semelhantes aos da metodologia SUPERPAVE, nomeadamente, utilizando o mesmo ângulo de compactação, pressão e velocidade de rotação. Para a mistura a formular é definido um número de rotações de compactação e um intervalo para o volume de vazios a respeitar pela mistura após compactação. O número de rotações definido na NF EN 13108-20 para diferentes misturas a quente, típicas de camadas de desgaste e de regularização, varia entre 40 e 100. Este número é definido conforme o tipo e classe da mistura, variando assim, com o seu fuso granulométrico ou com a classe de mistura. A classe da mistura é definida conforme o seu desempenho mecânico, por exemplo à deformação permanente. Após o ensaio de compactação giratória, o volume de vazios na mistura deve encontrar-se num intervalo especificado. O valor limite do volume de vazios máximo destina-se a assegurar que a mistura não fica muito aberta, de tal modo que se reduza a sua durabilidade. O valor limite do volume de vazios mínimo pretende evitar a sobrecompactação de misturas e evitar misturas mais susceptíveis a fenómenos de deformação permanente. A temperatura de compactação das misturas em laboratório deveria ser semelhante à prevista para a sua compactação em obra. As normas da série NF P-98, da 130 à 141, definiam igualmente um número máximo de vazios após 10 rotações (por exemplo, na ordem dos 14% para misturas a utilizar em camadas de base). Este limite destina-se a impedir a utilização de misturas demasiado compactáveis que iriam sofrer deformações significativas durante a compactação em obra.

Os níveis de formulação definidos na normalização francesa são 5, sendo o mais baixo o nível 0 e o mais alto o nível 4, como se pode ver no Quadro 4. O nível de formulação utilizado depende do tipo de mistura e da posição da mistura no pavimento (CFTR, 2008). O nível 0 apenas deve ser utilizado em misturas pouco solicitadas (ex. percursos pedonais ou ciclovias). A escolha do nível de formulação é definido para cada mistura pois depende da sua utilização, deste modo, apenas misturas que trabalhem à flexão, por exemplo misturas utilizadas em bases, necessitam de ser submetidas ao nível 4 que inclui o ensaio de fadiga. Misturas com alto módulo de deformabilidade (EME ou BBME) têm que ser submetidas ao nível 3 ou 4 por ser necessário realizar a determinação desse módulo. Para todos os níveis de formulação (excepto o nível 0) deve ser realizado o ensaio de sensibilidade à água e o ensaio de compactação giratória.

Quadro 4: Níveis de Formulação definidos na normalização francesa (CFTR, 2008)

Nível de Formulação	Características Gerais			Características Empíricas		Características Fundamentais	
	Sensib. à água	Compact. Giratória	Deformação permanente	% em betume	Classe betume	Módulo Deform.	Resist. Fadiga
Nível 0				X	X		
Nível 1	X	X		X	X		
Nível 2	X	X	X	X	X		
Nível 3	X	X	X			X	
Nível 4	X	X	X			X	X

MÉTODO UTILIZADO EM PORTUGAL

Em Portugal é utilizado o método de Marshall para formulação de misturas betuminosas. Para a maior parte das misturas a compactação por impacto é realizada com 75 pancadas por face de provete, de acordo com a interpretação expressa no Anexo Nacional, NP EN 13108-1 (IPQ, 2008a). O método de Marshall apresenta a desvantagem de ter como base um ensaio mecânico empírico cujos resultados não podem ser correlacionados com o desempenho das misturas betuminosas. Deste modo, a formulação de misturas em Portugal tem seguido a forma de “receitas de composição”, prevendo-se integrar parâmetros de desempenho com a adopção das novas normas europeias.

Os provetes Marshall são cilíndricos, com 101,6 mm de diâmetro e 63,5 mm de altura, o que só permite ensaiar misturas com máxima dimensão do agregado de 25,4 mm se se pretender garantir uma adequada representatividade de mistura no provete. Isto tem limitado a sua aplicação, por exemplo, ao Macadame Betuminoso Fuso B (máxima dimensão do agregado de 37,5 mm). Refira-se que a norma NP EN 13108-1 (Misturas betuminosas, Especificações dos materiais - Parte 1: Betão betuminoso) permite uma dimensão máxima do agregado de 1,4 x 31,5 mm, pelo que os provetes Marshall não representam todo o espectro possível para os betões betuminosos (IPQ, 2008a).

O concessionário Estradas de Portugal tem critérios bastante abrangentes para as características dos agregados e betumes. Para além das exigências estabelecidas para os componentes existem igualmente critérios estabelecidos para as misturas betuminosas. Estes incluem propriedades relacionadas com o ensaio Marshall e propriedades volumétricas. As propriedades relacionadas com o ensaio Marshall são a estabilidade Marshall mínima e máxima, a deformação Marshall máxima e a resistência conservada mínima. As propriedades

volumétricas incluem um intervalo para o volume de vazios, VMA e relação filer/betume. Estas exigências não variam com a classe de tráfego ou com a temperatura prevista para o pavimento. No Quadro 5 apresentam-se os valores das propriedades volumétricas exigidas para misturas tradicionais utilizadas em Portugal pela Estradas de Portugal. Refira-se que o Cadernos de Encargos da Estradas de Portugal se encontra a ser revisto esperando-se pequenas alterações nas propriedades exigidas aos agregados e às misturas betuminosas.

Quadro 5: Critérios volumétricos para misturas betuminosas tradicionais (JAE, 1998)

Classe Tráfego	Tráfego 20 anos (em milhões de eixos equivalentes 80 kN)	VMA (mínimo, %) / Porosidade (%)				Filer/betume
		Tipo de Mistura/Dim. Max. Agreg. (mm)				
		MB/37,5	MB/25	MBD/14	BD/14	
T ₆	< 2	--- / 4 a 8%*	13 / 4 a 6%	13 / 3 a 6%	14 / 4 a 6%	1,1 a 1,5
T ₅	2 to 8					
T ₄	8 to 20					
T ₃	20 to 40					
T ₂	40 to 70					
T ₁	70 to 100					
T ₀	> 100					

* Após compactação em obra.

Algumas alterações serão igualmente introduzidas com a adopção das normas europeias para misturas betuminosas. Estas dividem-se em duas famílias, as da EN 13108, que indicam as especificações de materiais e qualidade para as misturas, e as da EN 12697 que dizem respeito aos equipamentos e procedimentos de ensaio. A NP EN 13108-20 refere, inclusivamente, possibilidade de se utilizar a porosidade em provetes obtidos por compactação giratória como um critério prescritivo (IPQ, 2008b). Os provetes devem ser obtidos de acordo com a EN 12697-31, a qual não difere significativamente da metodologia SUPERPAVE.

Neste momento ainda não se encontra completamente definido o futuro processo de formulação, embora esteja apontado um procedimento na NP EN 13108-1 que indica que esta se continuará a realizar pelo método de Marshall. Mantendo-se igualmente as exigências relacionadas com este ensaio, por exemplo os limites de porosidade são referidos a provetes compactados no compactador de impacto. Após a formulação, a mistura óptima e mais duas, estas terão a mesma granulometria e uma variação de $\pm 0,5\%$ relativamente à percentagem óptima, são submetidas a ensaios de sensibilidade à água e resistência à deformação permanente em simulador de tráfego (*wheel tracking* em terminologia anglo-saxónica). Espera-se que no futuro a definição das misturas betuminosas assente mais nos ensaios de desempenho, privilegiando a abordagem fundamental, e menos na definição de receitas de composição. Esta abordagem não é discordante da utilização de métodos de formulação mais eficazes, pois como referido, uma melhor definição inicial da percentagem óptima em betume poderá agilizar o processo de formulação evitando a rejeição de misturas nos ensaios de desempenho.

TRABALHO FUTURO

O compactador giratório revela-se como um equipamento fundamental para analisar a compactação das misturas betuminosas. Este procedimento é referido na NP EN 13108-20 para análise da compactabilidade, analogamente ao que é a prática francesa. No entanto, o processo de escolha da percentagem óptima em betume apresenta uma importância crescente,

pois a selecção de uma percentagem que não cumpra os critérios estipulados pelos ensaios de desempenho, ou não se revele como a melhor opção pode introduzir incertezas e custos acrescidos ao processo de formulação. O método de Marshall apresenta limitações significativas, devido à sua natureza empírica, para poder realizar convenientemente essa função atendendo à cada vez maior diversidade de misturas e de materiais que vão surgindo. A escolha de um método mais versátil e capaz trará vantagens significativas ao processo de formulação. O compactador giratório ao permitir controlar de modo mais completo e eficaz o processo de compactação, e permitir variar os parâmetros de formulação em função das características das misturas, apresenta maior capacidade de adaptação a diferentes tipos de misturas e de situações. Deste modo, vão realizar-se estudos com o objectivo de determinar, para misturas tradicionais portuguesas, quais os parâmetros de formulação com o compactador giratório que melhor se adaptam a estas, procurando demonstrar que este método pode substituir com vantagem o método de Marshall na formulação das misturas betuminosas usadas em Portugal.

REFERÊNCIAS

- Al-Khaateeb, G., C. Paugh, K. Stuart, T. Harman, and J. D'Angelo. (2002). Target and tolerance for the angle of gyration used in the Superpave Gyratory Compactor (SGC). Transportation Research Record 1789, Transportation Research Board, p. 208-215.
- Brown, E., Buchanan, M. (2001). Literature review: verification of gyration levels in the Superpave N_{design} table. NCHRP Web Document 34, Transportation Research Board, Washington D.C.
- Buchanan, M., Brumfield, J., Sheffield, R. (2004). Investigation of the Gyration Angle of Superpave Gyratory Compactors. Journal of Materials in Civil Engineering, Vol. 16, n.º 5, p. 444-451.
- CFTR (2008). Enrobes Bitumineux a Chaud - Mise en Application des Nouvelles Normes NF EN. Note d'Information n.º 17, Comité Français pour les Techniques Routières, Paris.
- Harman, T., Bukowski, J., Moutier, F., Huber, J., Mcgennis, R. (2002). The History and Future Challenges of Gyratory Compaction 1939 to 2001. Transportation Research Record 1789, TRB, National Academy of Sciences, Washington, DC.
- JAE (1998). Caderno de Encargos da Junta Autónoma de Estradas. Junta Autónoma de Estradas, Lisboa.
- Ibrahim, A. (2007). Performance Evaluation of SUPERPAVE and Marshall Asphalt Mix Designs to Suite Jordan Climatic and Traffic Conditions, Construction and Building Materials, n.º 21, p. 1732-1740.
- IPQ (2008a). NP EN 13108-1 Misturas Betuminosas, Especificações dos Materiais Parte 1: Betão Betuminosos. Norma Portuguesa, Instituto Português da Qualidade, Caparica
- IPQ (2008b). NP EN 13108-20 Misturas Betuminosas, Especificações dos Materiais Parte 20: Ensaio Tipo. Norma Portuguesa, Instituto Português da Qualidade, Caparica
- Khan, Z., Wahab, H., Asi, I., Ramadhan, R. (1998). Comparative Study of Asphalt Concrete Laboratory Compaction Methods to Simulate Field Compaction. Construction and Building Materials, n.º 12 p. 373-384.
- Masad, E., Muhunthan, B., Sashiidhar, N. Harnan, T. (1999). Internal Structure Characterization of Asphalt Concrete Using Image Analysis. Journal of Computing in Civil Engineering, Vol. 13, n.º 2, p. 88-95.

- NCHRP (2007). Superpave Mix Design: Verifying Gyration Levels in the N_{design} Table (NCHRP 9-9). Report 573, Transportation Research Board, Washington D.C.
- Neubauer, O., Partl, M. (2004). Impact of Binder Content on Selected Properties of Stone Mastic Asphalt. Proceedings of the 3rd Eurasphalt & Eurobitume Congress, Vienna.
- Partl, M., Flisch, A., Jönsson, M. (2007). Comparison of Laboratory Compaction Methods using X-ray Computer Tomography. Road materials and Pavement Design, vol. 8, n.º 2, p. 139-164.
- Partl, M., Flisch, A., Jönsson, M., (2003). Gyrotory Compaction Analysis with Computer Tomography. Road materials and Pavement Design, vol.4, No. 4, p. 401-422.
- Peterson, R., Mahboub, K., Anderson, R., Masad, E., Tashman, L. (2004). Comparing Superpave Gyrotory Compactor Data to Field Cores. Journal of Materials in Civil Engineering, Vol. 16, n.º 1, p. 78-83.
- Prowell, B., Brown, E., Huner, M. (2003). Evaluation of the Internal Angle of Gyration of Superpave Gyrotory Compactors in Alabama. NCAT Report 03-04, National Center for Asphalt Technology, Auburn.
- Prozzi, J., Aguiar, J. (2007). Método de Optimización del Número de Giros de Diseño Mediante Desempeño Relativo. Revista Infraestructura Vial, N.º 17, p. 35-45.
- Roberts, F., Mohammad, L., Wang, L. (2002). History of Hot Asphalt Mixture Design in the United States. Journal of Materials in Civil Engineering, vol. 14, no4, pp. 279-293.
- Thyagarajan, S., Tashman, L., Masad, E., Bayomy, F. (2009). The Heterogeneity and Mechanical Response of Hot Mix Asphalt Laboratory Specimens. International Journal of Pavement Engineering, <http://www.informaworld.com/10.1080/10298430902730521>.
- Xie, H., Watson, D., Brown, R., (2005). 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.