

REVESTIMENTO ASFÁLTICO DELGADO A QUENTE TIPO BBTM – *BÉTON BITUMINEUX TRÈS MINCE*

Patrícia Nunes Ferreira

Universidade de São Paulo
Escola Politécnica

Yves Brosseau

Laboratoire Central des Ponts et Chaussées
LCPC - Nantes

Liedi Légi Bariani Bernucci

Universidade de São Paulo
Escola Politécnica

RESUMO

Neste artigo apresentam-se os resultados de dosagem pela metodologia francesa para projeto de misturas asfálticas do tipo BBTM (*Béton Bitumineux Très Mince*) na graduação 0/6, para comporem revestimentos asfálticos delgados, obtidos no *Laboratoire Central des Ponts et Chaussées* – LCPC/França, fazendo parte da pesquisa experimental da tese de doutorado da primeira autora. Para definir a composição mais adequada utilizou-se a Prensa de Compactação a Cisalhamento Giratório LCPC. Definido o projeto da mistura foram realizados ensaios no Simulador de Tráfego LCPC (3.000 ciclos), onde se pôde confirmar a resistência do BBTM à deformação permanente e a perda reduzida de macrotextura (Método da Mancha de Areia e levantamento tridimensional com Raio Laser) apresentando um valor muito inferior ao limite estabelecido (50%). Como o BBTM é uma mistura asfáltica descontínua e com um volume de vazios acentuado foi avaliada a sensibilidade da mistura em presença de água pelo Ensaio Duriez, obtendo-se uma resistência satisfatória.

ABSTRACT

This paper presents the results of French methodology for asphalt mixtures design such as BBTM (*Béton Bitumineux Très Mince*) in 0/6 gradation, to compose the thin wearing course, obtained in *Laboratoire Central des Ponts et Chaussées* – LCPC/France, as part of the experimental research for the doctorate degree of the first author. To define the most adequate composition, the LCPC Gyratory Compactor was used. After defining the mixture design, tests were conducted in the Rutting Test LCPC (3,000 cycles), which could confirm the rutting resistance of the BBTM and a lower loss of macrotexture (Sand Patch Test and three-dimensional survey with Laser Ray) presenting a lower value to the established limit (50%). As BBTM is a discontinuous asphalt mixture with a high void, the sensitivity of the mixture to the presence of water was evaluated by the Duriez Test, presenting a satisfactory resistance.

1. INTRODUÇÃO

Vários países desenvolvidos estão adotando novos tipos de revestimentos asfálticos que possam ser executados em camadas delgadas (2 a 3 cm de espessura) e que exerçam essencialmente a função de camada de rolamento com níveis de conforto e segurança adequados aos usuários, sendo duráveis e resistentes, de modo a garantir um maior período de vida sem manutenção e menores problemas operacionais devido à recorrência de obras de conservação nas pistas. Este tipo de revestimento é, em sua maioria, composto por misturas asfálticas descontínuas com a predominância de agregados graúdos e frações granulométricas de agregados miúdos, principalmente da fração-areia grossa ou média, ausentes.

Como exemplo de revestimento delgado a quente encontra-se o BBTM - *Béton Bitumineux Très Mince* (concreto asfáltico muito delgado), uma mistura asfáltica descontínua desenvolvida na França e caracterizada por uma grande porcentagem de agregados graúdos (70 a 80%), utilizada atualmente em larga escala como camada de rolamento de revestimentos novos, em serviços de reforço ou manutenção de rodovias, admitindo a adição eventual de fibras e ligantes modificados (XP P 98-137, 2001). A descontinuidade acentuada do BBTM e o teor de ligante empregado, com elevada porcentagem de vazios (10 a 25% dependendo da classe), caracterizam-no como um revestimento semipermeável ou permeável à água.

O objetivo deste trabalho é o estudo do BBTM 0/6 (tamanho nominal do agregado 6 mm) Classe 1, que corresponde a um tipo de revestimento asfáltico ainda não empregado no Brasil.

Neste artigo são apresentados os resultados dos ensaios realizados no *Laboratoire Central des Ponts et Chaussées* – LCPC Nantes/França, com base no método de dosagem francês que utiliza os seguintes ensaios: determinação da evolução volumétrica da mistura pelo ensaio de cisalhamento giratório, da deformação permanente (Simulador de Tráfego-LCPC) e da evolução da macrotextura após simulação de tráfego pela Mancha de Areia e Raio Laser, além da sensibilidade em presença de água pelo ensaio Duriez.

2. BBTM - *BÉTON BITUMINEUX TRÈS MINCE*

Apesar do BBTM ser utilizado na França desde do início da década de 80, foi a partir de 1986 que se registrou um grande impulso em sua aplicação na Europa, impulsionado pelo prêmio no concurso de inovações tecnológicas lançado pela Diretoria de Rodovias, cujo vencedor foi um BBTM com adição de fibras desenvolvido pela empresa SCREG (Brosseau, 1996). Até 2002, 1/3 das auto-estradas e aproximadamente 1/4 da rede nacional francesa já estavam revestidas por BBTM, totalizando 300 milhões de m². Além da França, o BBTM é aplicado em países do leste europeu (República Tcheca, Romênia, Polônia) e outros países da Europa como Espanha, Grã-Bretanha, Bélgica e Itália (Brosseau, 2002).

O BBTM é classificado de acordo com a graduação (0/6 ou 0/10), com a porcentagem de vazios obtida após 25 giros da Prensa a Cisalhamento Giratório PCG (classe 1 ou classe 2), com a descontinuidade (2/4 ou 2/6) e com o tipo de ligante (puro ou modificado) como mostra a Tabela 1 (Brosseau *et al.*, 1997). Vale ressaltar que o teor de ligante pode ser superior ao indicado na Tabela 1 caso se utilizem ligantes modificados ou fibras. No caso de ligantes puros, os classificados por penetração na faixa 50/70 e o 70/100 são os mais empregados. Algumas vezes o 35/50 é adotado para rodovias de tráfego pesado, embora nesses casos seja mais recomendado o uso de ligantes modificados por polímeros ou

adição de fibras. A porcentagem de vazios do BBTM normalmente adotada depende da graduação e da classe, e é aquela obtida em projeto após 25 giros da prensa de compactação a cisalhamento giratório (PCG).

Tabela 1: Composição do BBTM (Brosseau *et al.*, 1997; XP P 98 137, 2001)

Classe	6/10 ou 4/6 (%) em massa	0/2 (%) em massa	Finos (%) em massa	Teor de ligante puro (%) BBTM 0/6	Teor de ligante puro (%) BBTM 0/10	Vazios (%) BBTM 0/6	Vazios (%) BBTM 0/10
1	70 – 80	20 – 27	7 – 9	6,2 – 6,7	5,7 – 6,2	12 a 20	10 a 18
2	75 – 88	10 – 22	4 – 5	5,0 – 5,5	4,5 – 5,5	20 a 25	18 a 25

Observação: a simbologia x/y significa a fração granulométrica compreendida entre duas peneiras de abertura em milímetros, sendo retida na x e passante na y; Finos são os materiais passantes na peneira de abertura 0,063mm.

O BBTM representa uma solução durável tanto para pavimentos novos quanto nas reabilitações. A tecnologia utilizada para a produção do BBTM propicia a obtenção de um revestimento que concilia excelentes propriedades relacionadas à aderência em pistas molhadas: elevados valores de coeficiente de atrito longitudinal devido, principalmente, ao maior número de pontos de contato entre o pneu e o pavimento graças à presença marcante de agregados graúdos. Também oferece maior conforto ao usuário da via, principalmente sob os aspectos de baixa irregularidade e redução do ruído (Brosseau, 1999). O BBTM 0/6 classe 1 mantém suas características durante um período de 8 a 12 anos e o BBTM 0/6 classe 2 de 7 a 8 anos (Brosseau e Ledée, 2001).

3. ESTUDO EXPERIMENTAL

O método de dosagem francês baseia-se no desempenho das misturas, onde após a composição granulométrica e cálculo dos teores de ligante iniciais de teste, faz-se uma prova de dosagem que é subdividida em quatro níveis diferentes que dependem da importância da via a ser executada e do tipo de estudo e mistura asfáltica. Para os revestimentos delgados as etapas de dosagem limitam-se aos níveis 1 e 2 da metodologia francesa, ou seja, ensaios com a Prensa a cisalhamento giratório PCG e Duriez (nível 1) e deformação permanente (afundamento em trilha de roda e evolução da macrotextura) incluída no nível 2.

A seguir são mostradas todas as etapas para a dosagem de uma mistura asfáltica tipo BBTM 0/6 realizadas na França no *Laboratoire Central des Ponts et Chaussées* - LCPC Centro de Nantes. Esta pesquisa experimental faz parte da tese de doutorado da primeira autora, tendo sido acompanhada e orientada pelo segundo autor e sob orientação geral da terceira autora.

3.1. Agregados e Distribuição Granulométrica

Inicialmente estudou-se a composição granulométrica do BBTM 0/6, de forma a obter as proporções das frações 6/4, 0/2, finos e o teor de ligante recomendados pela norma XP P 98-137. Foram compostas três misturas: a primeira mais próxima de uma curva bastante empregada por uma das empreiteiras francesas, a segunda com -7 % da fração areia e a última com +7% da fração areia. A variação da fração areia foi realizada para o estudo da influência desta fração na resposta ao efeito da compactação (visto pelos resultados da prensa a cisalhamento giratório) e na deformação permanente e fechamento da macrotextura pela simulação de tráfego.

Os agregados utilizados são franceses e provenientes da Jazida Noubleau, constituída por rochas magmáticas (diorito) cuja qualidade vem sendo comprovada ao longo de vários anos de exploração e aproveitamento em camadas de revestimento. Dada a falta de finos para a composição do BBTM, foram empregados os finos da Jazida Airvault constituídos de calcáreo. Na Tabela 2 encontra-se a distribuição granulométrica de cada fração utilizada, acompanhada das respectivas massas específicas.

As três misturas citadas foram obtidas com as proporções de agregados estabelecidos pela norma XP P 98-137, resultando nos valores da Tabela 3, cujas distribuições granulométricas encontram-se ilustradas na Figura 1.

Tabela 2: Distribuição granulométrica dos agregados

Abertura das Peneiras (mm)	*Jazida Noubleau 4/6 MVR 2,833	*Jazida Noubleau 0/2 MVR 2,863	*Jazida Airvault Finos MVR 2,706
20	100,0	100,0	100
16	100,0	100,0	100
14	100,0	100,0	100
12,5	100,0	100,0	100
10	100,0	100,0	100
8	100,0	100,0	100
6,3	87,2	100,0	100
5	46,5	100,0	100
4	13,9	100,0	100
3,15	9,8	100,0	100
2	6,3	96,3	100
1	5,0	63,8	100
0,5	3,8	44,7	100
0,25	2,4	31,9	100
0,125	1,6	23,3	93,5
0,063	1,1	17,1	87

* porcentagem passante em massa

Tabela 3: Composição dos agregados para as curvas estudadas (% passante em massa)

Agregado (fração)	+7% fração-areia	média	+7% fração-areia
4/6	66,5	73,5	80,5
0/2	31	24	17
Finos	2,5	2,5	2,5

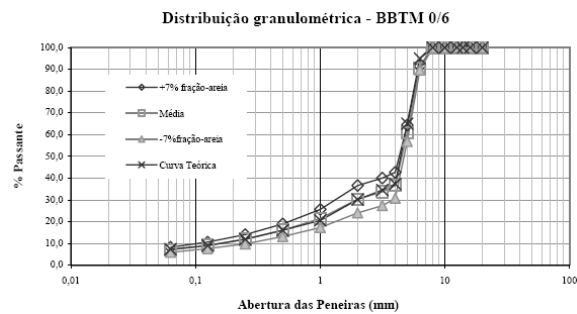


Figura 1: Distribuição granulométrica dos BBTM estudados

3.2. Ligantes Asfálticos

Adotou-se um ligante asfáltico modificado por 3% do polímero elastomérico SBS, proveniente da empresa ELF-TOTAL S.A. O Styrelf 13 é resultado de uma parceria entre a ELF-TOTAL S.A. e o LCPC, com excelentes propriedades reológicas, além de um ótimo comportamento à estocagem. A penetração média é de 41.

3.3. Método Francês de Dosagem

No método francês de dosagem, a escolha da composição mais adequada está condicionada, após a definição do teor de ligante, à porcentagem de vazios obtida aos 25 giros da PCG, ou seja, entre 12 e 20%.

O teor de projeto do ligante asfáltico é determinado pelo método do Prof. Duriez, que se baseia na superfície específica dos agregados definidos na Tabela 4.

Tabela 4: Superfície específica dos agregados (LPC, 2002)

Agregados	Superfície específica (m ² /kg)
Grãos G (> 6,3 mm)	0,25
Grãos S (6,3 – 0,250 mm)	2,3
Areia s (0,250 – 0,063 mm)	12
Filer F (< 0,063)	150

Inicialmente é necessário calcular, por meio da expressão (1), a superfície específica total da mistura de agregados (Σ), para em seguida calcular o teor de ligante pela expressão (2) que depende, além da superfície específica total, também do módulo de riqueza (K) do BBTM 0/6, sendo 3,5 o valor mínimo definido pela XP P 98-137.

$$100 \Sigma = 0,25G + 2,3S + 12s + 150F \quad (1)$$

em que: Σ = superfície específica total dos agregados [m²/kg];
G, S, s e F = proporção de cada agregado na mistura.

$$TL = K\alpha(\Sigma)^{0,2} \quad (2)$$

em que: TL = teor de ligante asfáltico [%].

K = módulo de riqueza - constante proporcional à espessura da película de ligante envolvendo o agregado, independe da massa específica da mistura de agregados e é determinada de acordo com o tipo de mistura asfáltica.

α = fator de correção quando se utiliza a massa específica dos agregados em g/cm³
($\alpha=2,65/MVR$), onde MVR = massa específica real dos agregados [g/cm³]

Para cada mistura foi determinado um teor de ligante asfáltico. Mantendo-se o módulo de riqueza K igual a 3,84, obteve-se 5,83% para a mistura com - 7% de fração-areia, 6% para a composição média e 6,15% para a mistura com +7% de fração-areia.

3.3.1. PCG (*Presse à Cisaillement Giratoire* – Prensa de Compactação a Cisalhamento Giratório)

O ensaio feito com a PCG caracteriza a evolução (ou redução) da porcentagem de vazios de uma mistura asfáltica, por meio de uma compactação obtida pela combinação de cisalhamento giratório e de uma força axial, ou seja, o ensaio mostra a evolução da compacidade em função do número de giros (NF P 98-252, 1999). A prensa utilizada para realizar os ensaios foi um exemplar da segunda geração das prensas francesas, a PCG2 (Figura 2).

As misturas foram fabricadas à temperatura de 175°C em um misturador cujo recipiente permite o controle da temperatura. A quantidade fabricada foi suficiente para produzir três corpos-de-prova (em torno de 7700g para cada molde), colocadas em moldes cilíndricos de 160 mm de diâmetro (Figura 3), submetidos a uma rotação lenta até chegar à velocidade fixada pela norma de 30 rpm. A Figura 4 mostra uma face interior de um corpo-de-prova cortado axialmente e a distribuição dos materiais em seu interior após a compactação. A tecnologia francesa utiliza a PCG apenas para a determinação da evolução da compacidade e para alterações na distribuição granulométrica; os corpos-de-prova não são empregados nos ensaios de determinação mecânica. Para este fim são produzidos corpos-de-prova na compactação por rolagem obtidos na mesa compactadora.

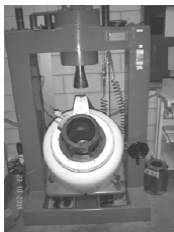


Figura 2: PCG2



Figura 3: Moldes metálicos $\varnothing = 160$ mm

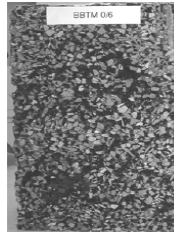


Figura 4: Detalhe do interior do corpo-de-prova de BBTM 0/6

Durante o ensaio, com a ajuda de um programa de computador, controla-se a força axial, a velocidade de rotação e a altura do corpo-de-prova em função número de giros, registrando os valores a 0, 1, 3, 4, 5, 10, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 80 e 100 giros. Porém, para a classificação do BBTM, adota-se o volume de vazios correspondente a 25 giros. O gráfico da Figura 5 mostra a evolução da porcentagem de vazios no decorrer do ensaio, demonstrada pela sensibilidade da mistura à compactação, que é diretamente proporcional à inclinação da reta, ou seja, quanto maior o coeficiente de angular menor a estabilidade da mistura. Para a confecção do gráfico são utilizados, segundo a metodologia francesa, os volumes de vazios entre 5 e 80 giros.

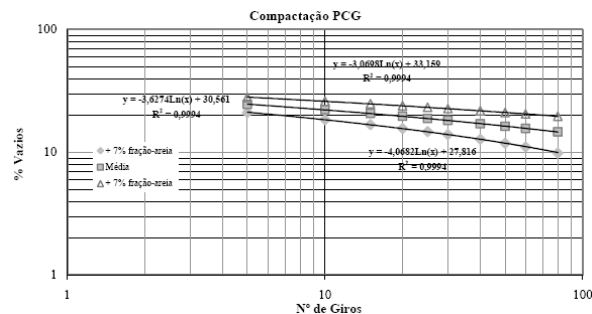


Figura 5: Evolução da porcentagem de vazios com o número de giros

Tanto a composição da curva média, com 18,9% de vazios, quanto a composição com + 7% da fração-areia, 14,8% de vazios, encontra-se no intervalo de porcentagem de vazios recomendado pela norma XP P 98-137, ao contrário da composição com - 7% da fração-areia, com uma porcentagem de vazios de 23,3%, 3,3% acima do limite superior recomendado. Observa-se então, que a fração-areia em excesso ocasiona um aumento na porcentagem de vazios e a falta uma redução. Porém, como a composição da curva média foi a que mais se aproximou da curva teórica, esta foi adotada como a curva do estudo.

3.3.2. Ensaio Duriez

Após o ensaio com a PCG, parte-se para a execução do Ensaio Duriez de determinação do efeito da umidade na durabilidade das misturas asfálticas, devido principalmente ao elevado volume de vazios do BBTM. Observe-se que em qualquer projeto de dosagem de mistura asfáltica francesa, mesmo para as vias de tráfego leve, as etapas de dosagem pela PCG e a determinação do dano por umidade induzida são obrigatórias e constituem o nível 1 de dosagem.

Este ensaio avalia a sensibilidade que a mistura apresenta após um contato prolongado com a água (imersão a 18 °C), estimando-se indiretamente o descolamento da película de ligante asfáltico da superfície do agregado. Esta sensibilidade é representada pela relação entre a resistência à compressão simples de corpos-de-prova antes da imersão (R) e após a imersão (r), isto é, r/R . (NF P 98-251, 2002)

Como o diâmetro máximo dos agregados da mistura é inferior à 14 mm foram moldados (compactação estática com pressão de 12 MPa) 12 corpos-de-prova cilíndricos com aproximadamente 1000g cada, em moldes com diâmetro de 80 mm e altura de 190 mm. Para os corpos-de-prova ensaiados os valores médios de massa, diâmetro, altura e volume foram respectivamente, 1003g, 80,1 mm, 88,7 mm e 447,2 cm³. Obtiveram-se 9,2% de vazios residuais, 22,1% de vazios ocupados por ar+ligante e 58,3% de vazios preenchidos apenas por ligante asfáltico.

Após retirados do cilindro, metade dos corpos-de-prova foram conservados a 18 °C ± 1 °C em uma câmara úmida com 50% de umidade relativa durante sete dias, correspondendo à metade não condicionada. A outra metade do conjunto, considerada condicionada, foi imersa totalmente em água, tendo sido submetida inicialmente a uma pressão residual induzida de 47 KPa ± 5% durante duas horas, e mantidos por sete dias consecutivos imersos em água, sem a pressão induzida.

Passados os sete dias, os corpos-de-prova condicionados e não-condicionados foram rompidos por compressão simples a uma velocidade de 1mm/s (Figura 6), determinando-se a resistência máxima de cada corpo-de-prova, e por consequência a perda de resistência dos corpos-de-prova pela presença de água ou umidade induzida.

Após a compressão simples obteve-se $R = 9,66$ MPa, $r = 8,82$ MPa e a relação $r/R = 0,91$. Segundo a norma XP P 98-137 a relação r/R para o BBTM deve ser maior ou igual a 0,8, portanto a relação obtida é aceitável, mostrando que a mistura asfáltica exibe pouca propensão ao descolamento da película de ligante asfáltico do agregado pela umidade. Este ensaio é essencial para aceitação de uma mistura asfáltica pois mostra a sensibilidade da mistura asfáltica de sofrer desagregação ao longo de sua vida em serviço.



Figura 6: Compressão simples

3.3.3. Ensaio de Deformação Permanente – Simulador de Tráfego LCPC

Este ensaio simula a passagem do tráfego, onde pode ser medida a evolução da deformação permanente, de modo a avaliar a resistência das misturas asfálticas ao afundamento na trilha de roda (NF P 98 253-1, 1991). É um ensaio executado em placas moldadas em uma Mesa Compactadora – LCPC (NF P 98-250-2, 1997), com espessura de 50 mm, largura de 180 mm e comprimento de 500 mm.

Como se trata de um revestimento asfáltico delgado, que em campo é compactado com um rolo compactador de chapa lisa, a compactação em laboratório é feita por um cilindro encaixado na roda da mesa compactadora (Figura 7 e Figura 8).



Figura 7: Acomodação da mistura no molde



Figura 8: Compactação com o cilindro metálico

Após compactadas, as placas são acondicionadas no Simulador de Tráfego (Figura 9) à temperatura de 60 °C, submetendo-as a ciclos de passagem de um pneu com dimensões padronizadas (pressão de inflação de 6 bar e carga de 5.000 N), a uma frequência de 1Hz.

Para o BBTM as medidas da deformação (Figura 10) são feitas até 3.000 ciclos, sendo admissível para o BBTM 0/6 uma deformação igual ou inferior a 20%. Estes limites são estabelecidos por correlação experimental entre testes de laboratório e em pistas em verdadeira grandeza. Não representa de forma alguma que a mistura sofrerá uma deformação em pista de 20% no total. Para cada tipo de mistura asfáltica, um valor limite é atribuído para garantir a resistência à deformação permanente durante a vida em serviço.



Figura 9: Interior do Simulador de Tráfego



Figura 10: Medida da deformação

O gráfico da Figura 11 mostra a evolução do afundamento na trilha de roda até 30000 ciclos, onde se verifica que o afundamento do BBTM aos 3.000 ciclos foi de 6,4 %, isto é, muito inferior aos 20% admitidos.

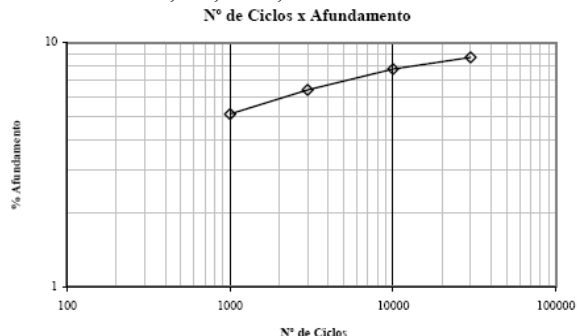


Figura 11: Deformação permanente do BBTM 0/6 (Simulador de Tráfego LCPC)

3.4. Avaliação da Macrotextura

Em revestimentos delgados é necessário avaliar a redução da macrotextura superficial decorrente da passagem do tráfego, já que é uma das principais características desse tipo de revestimento.

A evolução da macrotextura pode ser avaliada em laboratório, medindo-se a macrotextura por meio do ensaio de mancha de areia (NF P 98- 216-1, 1992) antes e após o ensaio de deformação permanente no Simulador de Tráfego. Antes do início do ensaio, determina-se a altura média da mancha de areia HSi (*Hauteur au Sable* inicial) e, após a passagem de 3.000 ciclos, HS₃₀₀₀.

O ensaio nas placas consiste em espalhar um volume conhecido de areia padronizada (12,5 cm³ que consiste na metade da quantidade de areia utilizada em campo), com movimentos circulares medindo o diâmetro do círculo resultante (Figuras 12). Após o ensaio de deformação permanente, espalha-se areia de modo a obter um retângulo compreendido sobre a trilha de roda - Figura 13. A altura de areia (HS em mm) será o quociente resultante da divisão do volume de areia conhecido pela área do círculo ou do retângulo formado ao final do espalhamento.

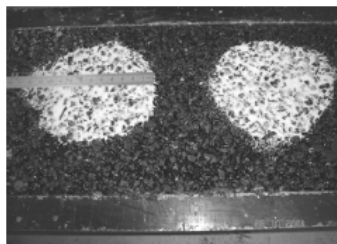


Figura 12: Mancha de areia ciclo 0

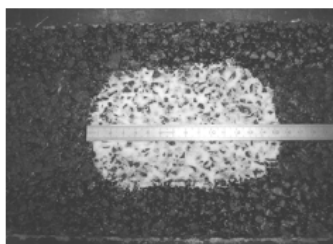


Figura 13: Mancha de areia no final do ensaio

Admite-se que para o BBTM, considerando uma porcentagem de afundamento de 15 a 20% no máximo ao final dos 3.000 ciclos, a perda da textura não deve superar 50% (Brosseau, 1998). A perda da macrotextura é calculada pela expressão $[1 - (HS_{3000}/HS_i)] \leq 0,5$, garantindo uma perda de no máximo 50%.

No caso do experimento, a HS inicial do BBTM foi de 1,3 mm, confirmando a textura superficial rugosa. Após 3.000 ciclos HS reduziu para 0,83 mm, com uma perda de 34%.

A pequena redução da macrotextura é confirmada pelo ensaio de varredura feita por meio de um raio laser, cujas imagens são mostradas nas Figuras 14 e 15, onde é perfeitamente visível o aspecto da textura inicial, a evolução e a redução após 300 ciclos; pode-se observar igualmente o afundamento causado pela passagem de roda do simulador de tráfego.

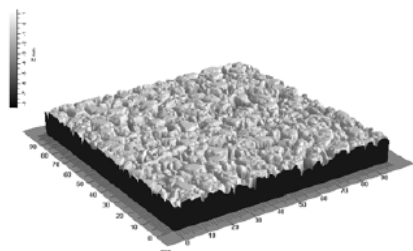


Figura 14: Macrotextura inicial

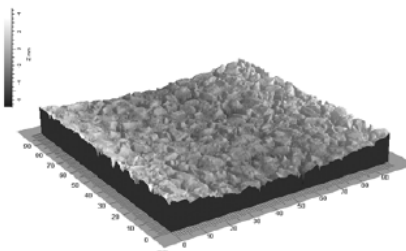


Figura 15: Macrotextura final 3000 ciclos

4. CONCLUSÕES

Através do método de dosagem francês de misturas asfálticas, pode-se verificar a adequação da composição granulométrica, por meio dos resultados de compacidade obtidos na PCG. Os técnicos podem alterar as frações quanto à natureza e porcentagem, e avaliar o impacto destas mudanças nas respostas volumétricas que serão alcançadas na compactação. No caso da pesquisa com o BBTM 0/6, a variação na porcentagem da fração areia teve forte influência na porcentagem de vazios em relação à curva média. Na composição com + 7% da fração-areia obteve-se 14,8%, ou seja, 4,1% acima da curva média. Já a redução em 7% da fração-areia, reduziu em 4,4% a porcentagem de vazios, resultando em 23,3%, estando além da porcentagem permitida. Portanto, a composição do BBTM é bastante sensível a alterações na fração. A curva granulométrica estudada foi aproximadamente uma empregada na região de Nantes.

As especificações francesas não fornecem curva-padrão ou faixa granulométrica. A experiência dos projetistas e empreiteiros é levada em consideração e são controladas em função do comportamento das misturas durante a compactação, da sensibilidade à umidade, do comportamento mecânico e desempenho.

O ensaio Duriez é fundamental para misturas asfálticas, principalmente para aquelas com elevado volume de vazios. Observe-se que o ensaio Duriez e a avaliação da compacidade com a PCG são obrigatórios e constituem-se no nível 1 da dosagem. Ao avaliar a sensibilidade do BBTM 0/6 em presença de água pode-se observar que a relação $r/R = 0,91$ garante uma baixa probabilidade de desagregação da mistura asfáltica por umidade induzida, provavelmente beneficiada pela utilização do ligante asfáltico Styrelf 13, modificado com 3% de SBS, além da evolução da macrotextura, que tem grande influência na aderência pneu/pavimento.

No método francês de dosagem, para o BBTM é previsto ainda a realização do ensaio de deformação permanente e a avaliação da redução da macrotextura após 3000 ciclos deste ensaio. A porcentagem de afundamento na trilha de roda de 6,4% após 3000 ciclos mostrou que o BBTM 0/6 da pesquisa é resistente à ação do tráfego e que pode ser utilizado em vias de alto volume de tráfego, já que a deformação foi muito inferior aos 20% admitidos pela especificação francesa.

Outra característica positiva do BBTM 0/6, confirmada nos resultados dos ensaios, foi a redução de 34% da macrotextura, ficando abaixo do limite de 50%, recomendado na especificação. Uma vez que a compactação foi feita com um cilindro metálico, reproduzindo a compactação de campo, a textura obtida nas placas são mais realistas e comparam-se às aquelas obtidas em campo pelo processo de compactação. A análise das imagens obtidas pela varredura do raio laser mostram a reduzida deformação permanente e pequena perda de macrotextura do BBTM da pesquisa..

Diante dos resultados em todos os ensaios realizados, confirmados pela ampla experiência francesa em revestimentos asfálticos delgados, verificou-se que o BBTM 0/6 possui as características essenciais às camadas de rolamento delgadas, sendo estável à compactação, resistente à ação da água, e não mostrando potencialidade de alterações importantes nas características volumétricas com o tráfego. Este tipo de revestimento asfáltico representa uma tecnologia que merece maior atenção e pesquisas, devendo obrigatoriamente passar por uma avaliação do efeito das diferenças climáticas que o Brasil impõe aos revestimentos. O BBTM pode constituir mais uma alternativa de restauração de rodovias de tráfego pesado, em substituição aos tratamentos superficiais, garantindo-se um preço competitivo pela reduzida espessura e qualidade controlada por se tratar de mistura realizada em usina a quente.

Agradecimentos

Os autores agradecem à FAPESP – Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado de São Paulo pelo apoio financeiro e ao *Laboratoire Central des Ponts et Chaussées* – LCPC, em Nantes, França.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AFNOR-NF-P-98-251-1, (2002), *Essais Relatifs aux Chaussées - Essais Statique sur Mélanges Hydrocarbonés, Partie 1: Essais DURIEZ sur Mélanges Hydrocarbonés à Chaud*, Association Française de Normalisation, Afnor, França.
- AFNOR-NF-P-98-216-1, (1992), *Essais Relatifs aux Chaussées – Détermination de la Macrotecture, Partie 1: Essai de Hauteur au Sable Vraie (HSv)*, Association Française de Normalisation, Afnor, França.
- AFNOR-NF-P-98-252 (1993), *Détermination du Comportement au Compactage des Mélanges Hydrocarbonés - Essai de compactage à la presse de cisaillement giratoire (PCG)*, Association Française de Normalisation, Afnor, França.
- AFNOR-NF-P-98-253-1, (1993), *Essais Relatifs aux Chaussées - Déformation Permanente des Mélanges Hydrocarbonés, Partie 1: Essai d'Orniérage*, Association Française de Normalisation, Afnor, França.
- AFNOR-NF-P-98-250-2, (1997), *Essais Relatifs aux Chaussées - Préparation des Mélanges Hydrocarbonés, Partie 2: Compactage des Plaques*, Association Française de Normalisation, Afnor, França.
- AFNOR-XP-P-98-137, (2001), *Enrobés Hydrocarbonés – Couche de Roulement: Béton Bitumineux Très Mince*, Association Française de Normalisation, Afnor, França.
- BROSSEAUD, Y. (1996), *Les Solutions d'Entretien des Couches de Surface*. *Révue General des Routes et Aérodrômes*. N° 742, pp 17-21, Juillet - Août, França.
- BROSSEAUD, Y. ABADIE, R.; LEGONIN, R. (1997), *Béton Bitumineux Très Mince et Ultra-Mince*, Note d'information – 94 , SETRA/LCPC, Avril, França.
- BROSSEAUD, Y. (1998), *Compared Performance of Very Thin Wearing Courses using Cold and Hot Mixed Bituminous Materials – Assessment of French Experience*. 1st World Conference on Highway Surfacing, May 11-13, Budapest, Hungary.
- BROSSEAUD, Y. (1999), *Very Thin and Ultra-Thin Wearing Courses Using Hot-mixed Bituminous Material – A Review of Use and Performance*. Transportation Research Board, 78th Annual Meeting – n° 990987, January 10-14, Washington, D.C., USA.
- BROSSEAUD, Y. LEDEE, A. (2001), *Les Revêtements des Chaussées Limitant le Bruit de Roulement – Exemple de Partenariat et de Coopération entre L'administration et les Entreprises Françaises*. INFRA, Novembre 26-28, Montreal, Canada.
- BROSSEAUD, Y. (2002), *Revestimentos Asfálticos Franceses: Panorama das Técnicas, Balanço de Comportamento*. 16º Encontro de Asfalto - IBP, Rio de Janeiro, RJ.
- LCP (2002), *Méthode de Formulation des Enrobés*. Thème CH15. Réseau LCP. Laboratoire des Ponts et Chaussées, França.

Liedi Légi Bariani Bernucci (liedi@usp.br)
Patrícia Nunes Ferreira (patricia.ferreira1@poli.usp.br)
Universidade de São Paulo
Escola Politécnica – Departamento de Transportes
Av. Prof. Almeida Prado – Travessa 2, n. 83
Cidade Universitária São Paulo
CEP 05508-000
Yves Brosseaud
LCPC - Centre de Nantes – Section Aucultation et Gestion de Routes
Route de Bouaye - BP 4129
44341 Bouguenais Cedex