

IAG161-01-2013
AVALIAÇÃO DA ADIÇÃO DE UM AGENTE TENSOATIVO NO
COMPORTAMENTO DE MISTURAS ASFÁLTICAS EM LABORATÓRIO
E NO DESEMPENHO EM CAMPO.
EVALUACIÓN DE LA ADICIÓN DE EVOTHERM SOBRE EL
COMPORTAMIENTO DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS RENDIMIENTO
EN LABORATORIO Y CON EL DESEMPEÑO EN EL CAMPO

Daniella Mello
Universidade Federal de Santa Catarina
Florianópolis, Brasil
daniellacivil@gmail.com

Glicério Trichês
Universidade Federal de Santa Catarina
Florianópolis, Brasil
glicerio.triches@ufsc.br

Resumo

Este artigo apresenta os resultados de um estudo de laboratório, da aplicação em campo e da avaliação do desempenho no primeiro ano de abertura ao tráfego de uma mistura asfáltica morna e um trecho de uma rodovia concessionada localizada na região sul do Brasil. A técnica apresentada, além de permitir a redução no consumo de energia, reduz a emissão de poluentes, benefício este que pode proporcionar a inclusão de projetos de comercialização de créditos de carbono. É avaliado o desempenho de um trecho experimental restaurado com a execução de uma camada de revestimento com mistura asfáltica morna produzida através da adição de um agente tensoativo, que é um aditivo surfactante que age na trabalhabilidade da mistura asfáltica, possibilitando a redução das temperaturas de usinagem e de compactação da mistura. A restauração consistiu em fresar e recompor a estrutura com 6,0 a 10,0 cm de CAUQ produzido com mistura morna. O trecho escolhido para o experimento apresentava-se com deflexão característica de $70,7 \times 10^{-2}$ mm. Foram medidas as deflexões após a fresagem e em períodos pré-estabelecidos inicialmente de 03 meses. Foram extraídos corpos de prova da pista para testes posteriores de resistência à tração por compressão diametral, módulo resiliente e deformação permanente. Os resultados de laboratório mostram que as propriedades mecânicas da mistura asfáltica são compatíveis com aqueles obtidos para as misturas asfálticas convencionais. Em campo, o volume de vazios da mistura morna compactada ficou bem acima daqueles obtidos em laboratório conduzindo a um grau de compactação muito abaixo do exigido pela especificação brasileira, o que poderá comprometer o seu desempenho ao longo do tempo.

Resumen

Este artículo presenta los resultados de su aplicación en el campo y el estudio de laboratorio de una mezcla caliente de asfalto, la introducción de esta tecnología en la concesión Autopista

Planalto Sul S.A. La técnica, además de permitir una reducción en el consumo de energía, reduce la emisión de contaminantes, como beneficio que puede proporcionar la inclusión de proyectos de comercialización de créditos de carbono. Se evaluó el rendimiento de una sección de prueba restaurada a la ejecución de una capa de revestimiento con la mezcla de asfalto caliente producido por la adición de producto tensoactivo, que es un aditivo tensioactivo que actúa sobre la trabajabilidad de la mezcla de asfalto, lo que permite una reducción en la temperatura del mecanizado y de compresión. El restaurante consiste en la molienda y la reconstrucción de la estructura con 6,0 a 10,0 cm CAUQ producido con la mezcla caliente. El pasaje elegido para el experimento presentado con deflexión característica de $70,7 \times 10 \text{ mm}^{-2}$. Deflexiones se midieron después de la molienda y preestablecidos inicialmente por 03 meses. Las muestras se extrajeron de la pista para las pruebas subsiguientes de resistencia a la tracción por compresión diametral, módulo resiliente y la deformación permanente. Por lo tanto, el estudio demuestra las diferencias en las propiedades físicas y mecánicas evaluadas en el laboratorio y en el campo de la mezcla de asfalto caliente en comparación con los parámetros requeridos para mezclas asfálticas calientes mecanizar, y el campo de desempeño de la mezcla.

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, vem crescendo expressivamente a preocupação com o meio ambiente e o setor rodoviário tem buscado seguir esta tendência, através do desenvolvimento de tecnologias no campo da pavimentação, que contemple conceitos de sustentabilidade à atividade. A partir deste contexto, surgiram, entre outras, as misturas asfálticas mornas, que buscam reduzir as emissões de poluentes e o consumo de energia.

Um grande impulso para o desenvolvimento de misturas asfálticas que necessitam de menos energia para a sua industrialização e que geram menos emissões de gases do efeito estufa deu-se quando a União Européia buscava formas para contribuir com a redução das emissões de gases de efeito estufa, atendendo com isso o Protocolo de Kyoto (PROWELL e HURLEY, 2007). Assim, com o objetivo de adequar os procedimentos empregados pela indústria da pavimentação as premissas do Protocolo de Kyoto, surgiram entre outros o conceito de misturas asfálticas mornas, que diferem das demais misturas asfálticas pelas temperaturas nas quais são produzidas, visando economizar energia e reduzir o efeito estufa.

O princípio fundamental das misturas asfálticas mornas está diretamente ligado à redução da viscosidade do ligante asfáltico, pois quando reduzida a viscosidade, consegue-se revestir o agregado a temperaturas mais baixas. Quando produzidas a temperaturas inferiores às tradicionais, as misturas asfálticas reduzem de forma significativa a emissão de gases como o CO_2 , sendo este ponto de extrema importância, pois possibilita a instalação de usinas em locais anteriormente proibidos por questões ambientais, além da redução do consumo de energia, que é um grande benefício aos produtores de misturas asfálticas, trazendo redução do custo da tonelada usinada.

Este trabalho tem como objetivo avaliar os efeitos da redução da temperatura de compactação nas propriedades físicas e mecânicas das misturas asfálticas através da construção de uma pista experimental restaurada com uma camada de revestimento com mistura asfáltica morna, com adição de um agente tensoativo.

PRODUÇÃO DE MISTURAS ASFÁTICAS MORNAS

Agregados

Os agregados utilizados para a mistura asfáltica estudada são procedentes da Pedreira Basalto 8, localizada em São José dos Pinhais/PR. O material pétreo, de origem basáltica, foi separado em três frações, a saber: Brita, pedrisco e pó-de-pedra. A Tabela 1 apresenta algumas das características do agregado utilizado.

Tabela 1 – Características dos agregados utilizados

Agregado	Porcentagem na mistura (%)	Massa específica real (g/cm ³)	Massa específica aparente (g/cm ³)	Absorção de água (%)
Brita ¾	15	2,634	2,59	0,6
Pedrisco	45	2,638	2,574	0,9
Pó de Pedra	38,5	2,71	2,688	0,3
Cal CH "I"	1,5	2,344		

Foi utilizada a especificação SUPERPAVE para a definição da distribuição granulométrica dos agregados. Para o presente estudo optou-se por adotar misturas com volume de vazios em torno de 4%. Variaram-se as distribuições granulométricas, sendo ensaiadas duas distribuições granulométricas densas e contínuas. Optou-se por selecionar uma curva que passasse abaixo da Zona de Restrição, conforme sugerido por diversos autores. Ambas apresentaram tamanho médio nominal de 12,5mm. Os limites estabelecidos para o DMN² = 12,5mm e os valores obtidos para as duas distribuições granulométricas utilizadas são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Faixa recomendada para DNM=12,5mm

Porções de Agregados	Faixa de valor	Pedreira Basalto 8
PAG	0,50-0,65	0,62
PGAM	0,35-0,50	0,48
PFAM	0,35-0,50	0,47

Cal CH -1

Como material de enchimento foi utilizado 1,50% de cal hidratada calcítica tipo CH-1. A principal função da incorporação da cal na mistura é melhorar a adesividade ligante-agregado. Normalmente, a quantidade de cal acrescentada é de 1% a 2% em peso da mistura (LIME, 2006).

Agente Tensoativo

O aditivo utilizado foi um agente tensoativo, sendo que este já vem adicionado no ligante, não havendo necessidades de alterações na usina de asfalto. Costuma-se adicionar o produto a uma taxa de 0,5% do peso da emulsão asfáltica ou do ligante.

O agente tensoativo atua no atrito interno entre as partículas dos agregados. Estas, quando submetidas a altas taxas de cisalhamento durante a usinagem e compactação da mistura, resultam

na redução do atrito interno dos agregados através de agentes tensoativos ou agentes de tensão superficial que facilitam o recobrimento dos agregados pelo ligante asfáltico.

Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP)

O ligante asfáltico utilizado foi o CAP 30/45 (classificação pela penetração) fornecido pela Betunel, acrescido de 0,5% de agente tensoativo, sendo este percentual calculado em função do peso do ligante asfáltico na mistura. O cimento asfáltico já vem com o produto adicionado, não sendo necessárias alterações na usina para a fabricação da mistura asfáltica modificada.

DOSAGEM DA MISTURA

O projeto da mistura asfáltica seguiu a metodologia SUPERPAVE (Superior Performing Asphalt Pavements), baseado nos parâmetros volumétricos, conforme previsto para o nível I de dosagem.

A variação no tipo de agregado permitiu verificar a variabilidade no teor ótimo de projeto. Os agregados representam a maior parcela de material numa mistura asfáltica, sendo fundamental conhecer as características dos materiais que estão sendo utilizados, além disso, os agregados podem variar significativamente nas diversas regiões do país, obrigando a utilização de materiais locais, sem prejuízos na qualidade das misturas.

CONSTRUÇÃO DA PISTA EXPERIMENTAL

Foi escolhido para execução da pista experimental um segmento localizado em Campo do Tenente, a 30 quilômetros de Rio Negro/PR, entre o Km 183+000 (latitude: -25,9312756897 e longitude: -49,6327375961) ao Km 183+880 (latitude: -25,9367928936 e longitude: -49,6380938393) da BR-116 (Rodovia Régis Bittencourt), no sentido Rio-Negro/PR – Curitiba/PR, num total de 880 m de comprimento, sendo a largura da faixa de 3,50 m.

A pista experimental foi dividida em três trechos, sendo que, para os trechos 01 (localizado entre o Km 183+000 ao 183+669) e 03 (localizado entre o Km 183+751 ao Km 183+880), foi executada uma camada de 6,00 cm de revestimento, enquanto que, para o trecho 02 (localizado entre o Km 183+670 ao 183+750) foi executada uma camada de 10,0 cm de revestimento.

Anterior a execução do trecho experimental, foi realizado o levantamento das condições do pavimento, através dos registros dos afundamentos em trilha de roda, deflexões e índice de gravidade global. Posterior ao levantamento das condições do revestimento antigo foram realizados os serviços de fresagem e construção do novo revestimento.

A mistura asfáltica foi produzida na usina de mistura asfáltica do tipo gravimétrica, localizada à, aproximadamente, 100 km de distância do trecho experimental. O tempo de viagem dos caminhões da usina à pista foi de, aproximadamente, duas horas.

Os serviços de pavimentação foram iniciados no trecho compreendido entre os km 183+670 ao 183+750, com uma camada de 4,0 cm de Concreto Betuminoso Usinado a Quente, pois este

trecho teria sua camada de capa asfáltica final em 10,0 cm. Após executar esta camada inicial, todo o trecho recebeu outra camada de 6,0 cm, que foi iniciado no km 183+000.

Devido à baixa temperatura ambiente no local em que a usina está instalada, sendo de 2°C no início da usinagem da mistura e ao significativo tempo de viagem, fatores estes que acabam ocasionando o rápido resfriamento da massa asfáltica, optou-se por usinar a mistura à temperatura de 150°C. A temperatura de compactação variou entre 100 e 110°C. A temperatura máxima registrada na pista foi de 6°C.

Observou-se em campo que devido à redução de temperatura de compactação da mistura, há uma percepção de decréscimo na emissão de gases, o que além de contribuir para a redução do efeito estufa (emissão de CO₂), beneficia os trabalhadores que ficam expostos diretamente à emissão dos gases

ENSAIOS REALIZADOS E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Dano Por Umidade Induzida

Foram moldados 08 corpos de prova para a realização do ensaio de Dano por Umidade Induzida a partir da mistura asfáltica definida em laboratório. A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos.

Tabela 3 – Resultados do ensaio de dano por umidade induzida

	Corpo de prova Seco	Corpo de prova condicionado
Resistência à Tração (MPa)	0,9	0,68
Vazios (%)	10,8	10,5
Saturação (%)		76,7
Razão da Resistência à Tração (RRT) (%)		74

De acordo com o resultado encontrado, observou-se que o valor obtido encontra-se dentro do limite estabelecido na especificação brasileira, que considera aceitáveis valores acima de 70% (BERNUCCI et al, 2008).

Módulo Resiliente

Foram realizados ensaios de Módulo Resiliente de acordo com a especificação DNIT 135/10, em corpos de prova moldados em laboratório e em corpos de prova extraídos em campo. A Tabela 4 apresenta os resultados obtidos.

Tabela 4 – Resultados obtidos para o ensaio de Módulo Resiliente

Condição	GC (%)	Vv (%)	MR (MPa)
Laboratório	98,00	4	8.446
Campo – 01 mês	94,03	10,3	7.383
Campo – 03 meses	96,57	7,8	8.274
Campo – 6 meses	96,78	7,6	8.367
Campo – 9 meses	97,00	7,4	8.875
Campo – 12 meses	97,33	7,1	9.341

Em relação aos valores obtidos, o fato de ter sido utilizado um ligante asfáltico de maior consistência (faixa 30/45) e ter se adicionado cal, explicam os elevados nos valores encontrados, muito embora o volume de vazios da mistura em campo seja bastante elevado.

Deformação Permanente

Foram extraídas duas placas em campo para a realização do ensaio de deformação permanente no simulador de tráfego tipo LCPC. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Resultados de deformação permanente em trilha de roda

Placa	Espessura (cm)	Número de Ciclos					
		100	300	1.000	3.000	10.000	30.000
		Afundamento em Trilha de Roda (%)					
1	5,00	1,40	1,70	2,10	2,80	3,10	4,00
2	5,00	2,80	3,10	4,00	5,00	6,00	7,80

No Brasil não se tem especificação quanto à deformação permanente máxima aceitável, tem-se adotada a especificação da comunidade Européia. Para rodovias com tráfego pesado e elevado percentual de caminhões, as concessionárias têm aceitado que a deformação permanente da mistura no ensaio simulador de tráfego deve ser inferior a 5% da espessura original após 30.000 ciclos e temperatura de 60°C. É possível observar que a placa 2 foi mais suscetível à deformação permanente, pois sofreu quase o dobro de afundamento em relação a placa 1. Tendo-se em vista as especificações adotadas no Brasil, observa-se que a placa 1 teve afundamento de trilha de roda considerado aceitável, apresentando 2,0mm de trilha de roda (4,0% de deformação permanente após 30.000 ciclos), enquanto que a placa 2 se situou significativamente fora do limite, apresentando 4,0mm de trilha de roda (7,8% de deformação permanente após 30.000 ciclos).

Levantamento de Trilhas de Roda

A avaliação objetiva das condições do pavimento foi realizada através do levantamento das flechas, com a utilização da treliça metálica, seguindo o procedimento descrito no DNIT 006/2003 PRO. Foram realizadas duas medições, sendo uma após seis meses de abertura ao tráfego e a segunda após doze meses. A partir dos resultados obtidos, verificou-se que os três segmentos encontram-se dentro do limite especificado, mesmo apresentando valores elevados de desvio-padrão, inclusive para o segmento onde foi extraída a placa 2, muito embora o tempo de atuação da carga ainda é pequeno.

Índice de Gravidade Global

A avaliação dos defeitos da superfície do pavimento foi realizada através da avaliação visual de trincas, fissuras, afundamento e panela, com o objetivo de determinar o Índice de Gravidade Global – IGG, especificado pela norma DNIT 006/2003-PRO. Foram realizadas duas medições, sendo uma após seis meses de abertura ao tráfego e a segunda após doze meses.

Observou-se a presença de trincas interligadas sem erosão acentuada nas bordas das trincas no primeiro segmento, com bombeamento de finos proveniente das camadas inferiores do

pavimento, mais especificamente entre as estacas localizadas nos km 183+600 a 183+660 da trilha de roda interna (TRI) a partir do sexto mês da abertura da pista ao tráfego, correspondendo a 10% da área do primeiro segmento. Se comparado com o restante do segmento que se apresenta em ótimo estado, pode-se afirmar que se trata de um defeito localizado, pois representa um percentual pequeno do total considerado.

Levantamento das Deflexões do Pavimento

A condição estrutural do pavimento foi realizada através do delineamento da linha de influência longitudinal da bacia de deformação por intermédio da viga Benkelman através do método padronizado DNIT-ME 133/2010, utilizando-se um caminhão com pneus calibrados com 0,56 MPa e carga de 80 KN por eixo. A Viga Benkelman utilizada é a eletrônica e as leituras são realizadas a cada 20 metros, todas nas mesmas posições, em relação ao eixo da rodovia.

Para a verificação das características estruturais do pavimento, foram realizados levantamentos das deflexões, com o emprego da viga Benkelman eletrônica. Utilizou-se a correção das medidas de deflexão através do gráfico apresentado no Guia da AASHTO de 1993, o qual fornece coeficientes que transformam a deflexão medida em deflexões a temperatura de 20°C.

Para o trecho da BR 116/PR compreendido entre os km 142,7 ao km 211,5 tem-se um N de projeto estimado em $6,60 \times 10^7$ pelo método USACE. De acordo com o DNER-PRO 11/79, que é o procedimento utilizado pelo DNER / DNIT para a avaliação estrutural dos pavimentos flexíveis, o valor da deflexão máxima admissível foi calculado em função do N de projeto, utilizando-se a equação:

$$\text{Log}(D_{\text{adm}}) = 3,01 - 0,176 \cdot \log(N) \quad (1)$$

Onde:

D_{adm} é a deflexão de projeto admissível, em 0,01mm. Para $N = 6,60 \times 10^7$ (10 anos), obtém-se $D_{\text{adm}} = 43$ (0,01mm).

De acordo com os resultados encontrados, observou-se que para o revestimento antigo as deflexões medidas encontravam-se acima da deflexão admissível. As deflexões medidas no novo revestimento apresentam valores acima do admissível a partir do terceiro mês de abertura ao tráfego para todos os três segmentos.

Um fato importante a ressaltar é que contribui para que as deflexões estejam acima do valor admissível é a falta de drenagem profunda e subsuperficial do pavimento, a ausência de acostamento e o excesso de vegetação adjacente à pista, colaborando com a infiltração de água na estrutura do pavimento e a manutenção de níveis elevados de umidade, exercendo influência sobre os materiais constituintes da estrutura do pavimento, que com o decorrer do tempo causam a perda de serventia. Observou-se em campo a presença de trincas e fissuras na primeira e segunda faixa de rolamento da rodovia, adjacentes a pista experimental, sendo que a infiltração que ocorre através da superfície do pavimento por meio destas tem influência direta na terceira faixa da rodovia onde se localiza a pista experimental.

Conforme levantamento realizado em campo, a trilha de roda interna (TRI) apresenta valor médio maior para as deflexões quando comparada a trilha de roda externa, o que pode explicar o trincamento observado no segmento compreendido entre as estas 183+600 ao 183+660, sendo este na trilha de roda interna. A água que infiltra através das trincas da pista adjacente permanece dentro da estrutura do pavimento, pois este é ausente de dispositivos de drenagem profunda e subsuperficial, causando a perda da serventia.

Nas Figuras 1 e 2 estão apresentadas as deflexões obtidas para a trilha de roda interna (TRI) e trilha de roda externa (TRE) de acordo com os levantamentos deflectométricos realizados.

Figura 1 – Levantamento Deflectométrico – Trilha de Roda Interna (TRI)

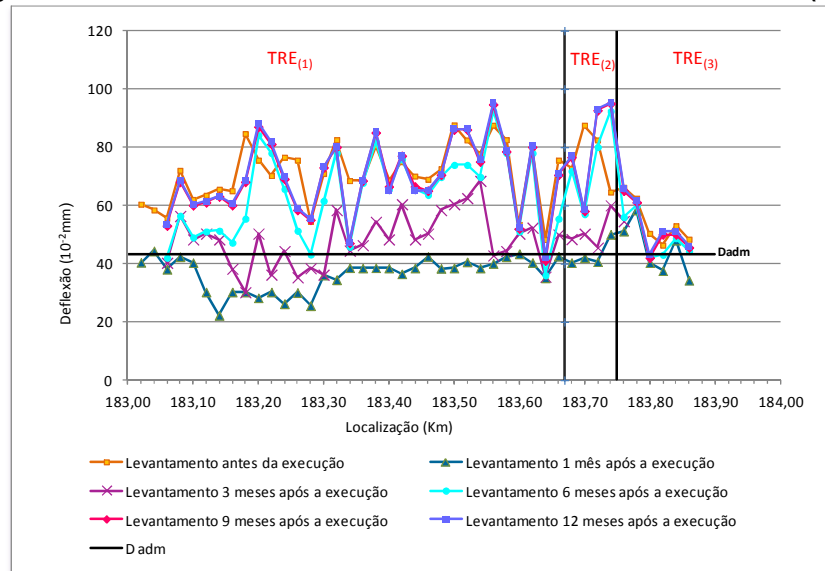
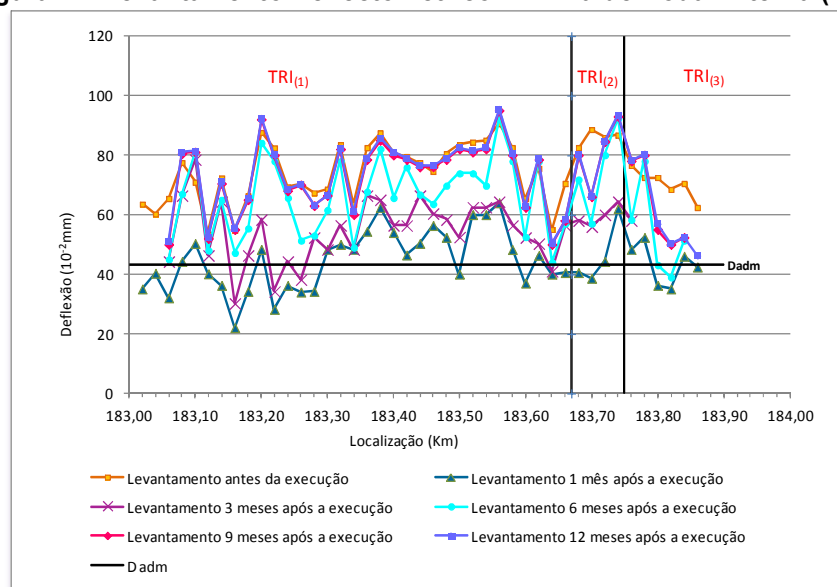


Figura 2 – Levantamento Deflectométrico – Trilha de Roda Externa (TRE)



CONCLUSÕES

Os ensaios de Dano por Umidade Induzida, Resistência a Tração por Compressão Diametral e Módulo Resiliente apresentaram resultados satisfatórios quando comparados aos valores usualmente utilizados para misturas asfálticas quentes.

Os ensaios laboratoriais de deformação permanente com simulador de tráfego LCPC para as placas extraídas da pista experimental apontaram variação nos resultados encontrados. A placa 01 obteve resultado satisfatório, enquanto que, a placa 02 apresentou resultado acima do esperado. Mesmo assim, o segmento onde foi extraída esta placa ainda não apresenta indícios de manifestação de deformação permanente.

A evolução das deflexões medidas indica que após um ano de atuação do tráfego a deflexão admissível já foi ultrapassada. Entretanto, não se observa o aparecimento de trincamentos, a exceção das trincas observadas entre os km 183+600 ao 183+660, as quais estão associadas a falta de drenagem da estrutura nesta região.

Referências Bibliográficas

ASPHALT INSTITUTE – AI. SUPERPAVE: Performance Graded Asphalt: Binder Specification and Testing. Series nº1: Asphalt Institute. . Lexington, USA, 1995.

ASPHALT INSTITUTE – AI. Mix Design Methods: For Asphalt Concrete and Other Hot-Mix Typs. Manual Series nº 2 (MS-2). 6th Edition. Lexington, USA, 1998.

AZEVEDO, A. M. Considerações sobre a Drenagem Subsuperficial na Vida Útil de Pavimentos Rodoviários. Dissertação (Mestrado). – Universidade de São Paulo. São Paulo, 2007.

BERNUCCI, L. B. et al. Pavimentação Asfáltica – Formação Básica para Engenheiros. Rio de Janeiro, 2008.

D'ANGELO, J.; HARM, E.; BARTOSZEK, J.; BAUMGARDNER, G.; CORRIGAN, M.; COWSERT, J.; HARMAN, T.; JAMSHIDI, M.; JONES, W.; NEWCOMB, D.; PROWELL, B.; SINES, R.; YEATON, B. Warm-Mix Asphalt: European Practice. International Technology Scanning Program. Virginia, 2008.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER-PRO 11/79: Avaliação estrutural dos pavimentos flexíveis. Procedimento. Rio de Janeiro, 1979.

DEPARTAMENTO ESTADUAL DE INFRAESTRUTURA. DEINFRA-SC-ES-P-05/92. Camadas de misturas asfálticas usinadas a quente. Especificação de serviço. Florianópolis, 1992:

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT 135/10: Pavimentação Asfáltica - Misturas Asfálticas: Determinação do módulo de resiliência: Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2010.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER-ME 138/94: Misturas Betuminosas: Determinação da resistência a tração por compressão diametral. Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1994.

- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER-ME 043/95: Misturas betuminosas a quente: ensaio Marshall. Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1995.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER-ES 313/97: Pavimentação – concreto betuminoso. Especificação de serviço. Rio de Janeiro, 1997.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER-ME 083/98: Agregados – análise granulométrica: Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1998.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT 006/2003-PRO. Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos. – Procedimento. Rio de Janeiro, 2003:
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT 008/2003-PRO. Levantamento visual contínuo para avaliação da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos. – Procedimento. Rio de Janeiro, 2003:
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT-ES 031/06: Pavimentos flexíveis: Concreto Asfáltico: Especificação de Serviço. Rio de Janeiro, 2006.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT 095/2006-EM. Cimentos asfálticos de petróleo – Especificação de material. Rio de Janeiro, 2006:
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT. Manual de restauração de pavimentos asfálticos. Rio de Janeiro, 2006:
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT 133/2010-ME. Pavimentação asfáltica – delineamento da linha de influência longitudinal da bacia de deformação por intermédio da Viga Benkelman. – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2010:
- DI BENEDETTO, H. & DE LA ROCHE, C. State of the Art on Stiffness Modulus and Fatigue of Bituminous Mixtures. RILEM Report 17. Bituminous Binders and Mixes. Brussels - Belgium, 1998.
- LIME. Hydrated Lime - A Solution for High Performance Hot Mix Asphalt, 4f. Prepared for Lime Association. 2006.
- MELLO, D. Avaliação da Adição de Evotherm no Comportamento de Misturas Asfálticas em Laboratório e no Desempenho em Campo. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2012.
- MOURA, E. Estudo de Deformação Permanente em Trilha de Roda de Misturas Asfálticas em Pista e em Laboratório. Tese (Doutorado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2010.
- MOTTA, L. M. G. Contribuição para a Estimativa do Módulo Resiliente de Misturas Asfálticas. IBP. Rio de Janeiro, 1998.

MOTTA, R. S. Estudo de Misturas Asfálticas Mornas em Revestimentos de Pavimentos para Redução de Emissão de Poluentes e de Consumo Energético. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo. São Paulo, 2011.

PROWELL, B. D.; HURLEY, G. C. Warm-mix asphalt: Best Practices. Quality Improvement Series 125. Lanham: NATIONAL ASPHALT PAVEMENT ASSOCIATION, 2007.