

IAG284-06-2013
EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE MEZCLAS BITUMINOSAS
SEMICALIENTES
AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DE MISTURAS ASFÁLTICAS
PRODUZIDAS EM TEMPERATURAS INTERMEDIÁRIAS

Luciana Rohde
Universidade Federal de Santa Catarina
Florianópolis, Brasil
l.rohde@ufsc.br

Jorge Augusto Pereira Ceratti
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Porto Alegre, Brasil
jorge.ceratti@ufrgs.br

Resumen

El desarrollo de las técnicas de fabricación de mezclas asfálticas para cumplir con los requisitos de sostenibilidad es un objetivo que persigue el mundo, especialmente en las sociedades tecnológicamente avanzadas. El estudio de hormigón asfáltico especial producida a partir de temperaturas reducidas cumple esa meta. Este trabajo tiene como objetivo evaluar las propiedades volumétricas y mecánicas de las mezclas asfálticas producidas y extendidas a temperaturas sensiblemente inferiores a las técnicas convencionales. Varias técnicas se han desarrollado con el objetivo de ahorrar energía y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en la atmósfera. Estos procesos también pueden contribuir a la mejora de las condiciones laborales de los trabajadores. Beneficio adicional es la apertura al tráfico más rápida. Esta investigación tuvo como objetivo permitir la producción a escala experimental de mezclas asfálticas tibias, actualmente en uso en países como Francia, Estados Unidos e Inglaterra. Fueron diseñadas mezclas asfálticas tibias para la misma distribución del tamaño de partícula. Las temperaturas de mezcla y compactación variaron entre 85 y 120°C. Para la evaluación de las mezclas asfálticas producidas se realizaron ensayos Marshall, resistencia a la tracción, módulo de resiliencia, fatiga, Cantabro y la sensibilidad al agua. Las características de las mezclas asfálticas estudiadas varió significativamente dependiendo de la temperatura de trabajo. Los resultados muestran que las mezclas tibias evaluadas exhiben un comportamiento mecánico similar a una mezcla de asfalto caliente convencional.

Resumo

O desenvolvimento de técnicas de fabricação de misturas asfálticas tendo em vista requisitos de sustentabilidade é objetivo perseguido mundialmente em especial por sociedades tecnologicamente avançadas. O estudo de concretos asfálticos especiais produzidos a partir da redução de temperaturas vem ao encontro desta meta. Este trabalho tem por objetivo avaliar propriedades volumétricas e mecânicas de misturas asfálticas produzidas e aplicadas em temperaturas intermediárias. Diversas técnicas têm sido desenvolvidas visando economizar

energia e reduzir a emissão de gases poluentes na atmosfera. Tais processos podem ainda contribuir para a melhoria das condições de trabalho nas usinas de concreto asfáltico e nos canteiros de obras. Benefício adicional resulta do fato de a redução da temperatura de trabalho permitir maior agilidade na liberação da via ao tráfego. Esta pesquisa objetivou viabilizar a produção em escala experimental de misturas asfálticas “mornas”, estudadas atualmente em países como França, Estados Unidos e Inglaterra. Foram dosadas misturas asfálticas em temperaturas intermediárias para uma mesma distribuição granulométrica. As temperaturas de mistura e compactação variaram entre 85 e 120°C. Para caracterização e verificação de desempenho, foram realizados os ensaios da Metodologia Marshall, resistência à tração, módulo de resiliência à compressão diametral, fadiga à tensão controlada, perda de massa por desgaste Cantabro e resistência ao dano por umidade induzida. As características dos concretos asfálticos estudados apresentaram variação significativa em função das temperaturas de trabalho. Os resultados mostram que as misturas especiais estudadas apresentam comportamento mecânico similar ao de uma mistura asfáltica convencional.

INTRODUÇÃO

Diferentes técnicas visando à redução de até 55°C nas temperaturas de fabricação e aplicação de misturas asfálticas a quente têm sido propostas nos últimos anos. Estes novos processos e produtos empregam variados meios mecânicos e químicos para reduzir a resistência ao cisalhamento da mistura nas temperaturas de construção mantendo ou melhorando o desempenho do pavimento. O desenvolvimento destas tecnologias começou na Europa em 1997, com o objetivo de adequar os procedimentos empregados pela indústria da pavimentação às premissas do Protocolo de Kyoto (Newcomb, 2007). Os processos variam entre si, mas os objetivos são os mesmos: economizar energia e reduzir a emissão de gases poluentes na atmosfera.

As misturas asfálticas mornas diferem de outras misturas asfálticas pelas temperaturas nas quais são produzidas e pela resistência e durabilidade do produto final. A Figura 1 apresenta uma possível classificação para os processos de produção de misturas asfálticas. As misturas asfálticas mornas são produzidas em temperaturas entre 105 a 135°C. As misturas asfálticas a quente possuem maiores estabilidade e durabilidade se comparadas às misturas a frio, o que explica a utilização deste material em camadas mais delgadas de pavimentos com baixo volume de tráfego. O principal objetivo das misturas asfálticas “mornas” é alcançar resistência e durabilidade equivalentes ou superiores às das misturas asfálticas a quente (Newcomb, 2007).

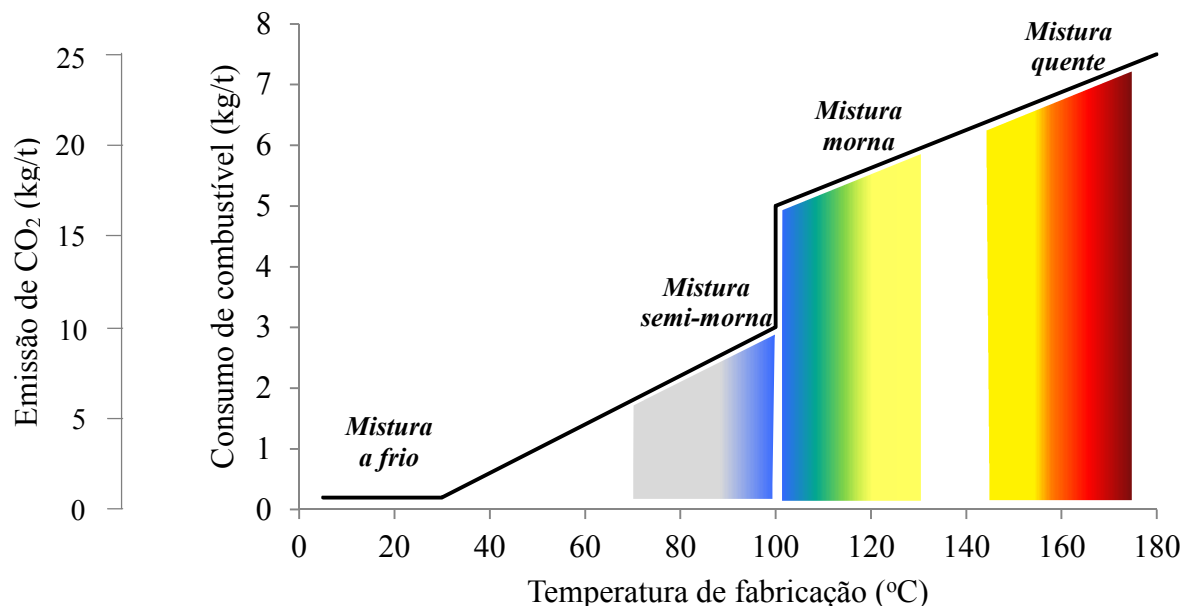
Em comparação com a tecnologia tradicional de mistura asfáltica a quente, a técnica de misturas mornas pode resultar nas seguintes vantagens (Hurley e Prowell, 2006; Newcomb, 2007; D’Angelo et al, 2008; Kristjansdottir, 2007):

- redução da quantidade de energia utilizada para a mistura, o que reduz o consumo de combustível na planta e, conseqüentemente, o custo do projeto;
- diminuição dos efeitos de envelhecimento do asfalto durante a produção e execução da mistura devido às temperaturas mais baixas o que resulta na redução do fenômeno de oxidação, podendo aumentar a vida útil do concreto asfáltico;

- redução da perda de hidrocarbonetos aromáticos durante o processo de mistura e compactação;
- os mecanismos que permitem melhorar a trabalhabilidade a menores temperaturas favorecem o processo de compactação. As densidades obtidas em campo tendem a reduzir a permeabilidade da mistura, promovendo melhorias nas resistências ao trincamento por fadiga e aos danos devidos à umidade;
- uma vez que as misturas podem ser compactadas a temperaturas mais baixas tem-se mais tempo disponível para efetuar a compactação;
- quanto menor a diferença de temperatura entre a temperatura ambiente e a mistura menor a redução de temperatura por resfriamento, o que pode ser benéfico para pavimentação em climas frios ou longas distâncias de transporte para o local de pavimentação;
- liberação ao tráfego mais rápida;
- redução de 30% a 50% da emissão de gases de efeito estufa: CO₂, NO_x, SO₂, CO, VOC, poeira e voláteis;
- diminuição da temperatura e emissão de vapor durante a compactação, o que torna a atividade mais segura e confortável para os trabalhadores.

Figura 1: Possíveis classificações das misturas asfálticas

Fonte: Adaptado de D'Angelo et al. (2008) e Bardesi & Soto (2010)



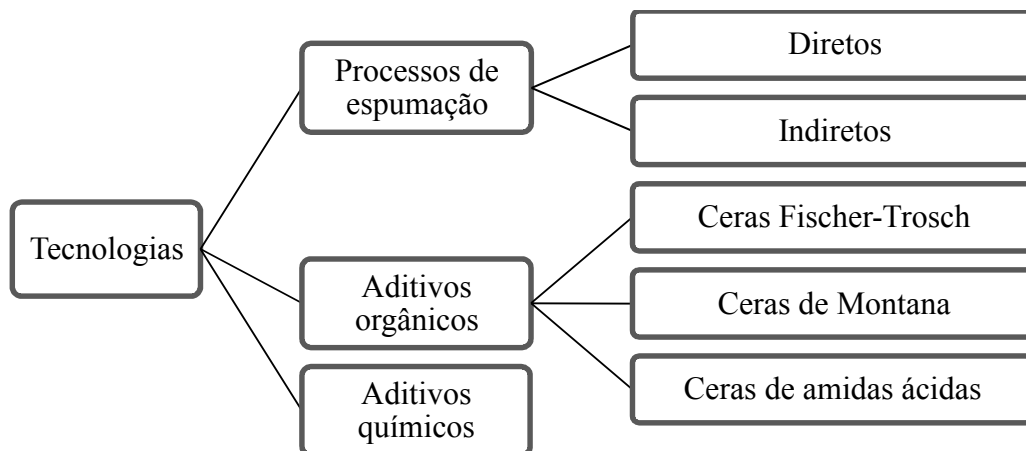
Neste contexto, esta pesquisa tem como objetivo avaliar a influência da redução das temperaturas de produção e aplicação em escala experimental de misturas asfálticas mornas, utilizadas atualmente em países como França e Suécia, como *enrobés tièdes* e *semi-tièdes*, e nos Estados Unidos e Inglaterra, como *warm mix asphalt*.

MISTURAS ASFÁLTICAS MORNAS

As misturas mornas diferem de outras misturas asfálticas pelas temperaturas nas quais são produzidas e pela resistência e durabilidade do produto final. As diversas tecnologias

desenvolvidas e utilizadas mundialmente para a produção de misturas asfálticas mornas é podem ser divididas conforme a Figura 2.

Figura 2: Tecnologias para produção de misturas mornas



Os processos de espumação baseiam-se na adição de pequenas quantidades de água diretamente no ligante ou pela utilização de agregados parcialmente secos. Quando a água se mistura ou entra em contato com o ligante aquecido ocorre a evaporação com aumento de volume e redução da viscosidade do ligante asfáltico. A utilização de zeólitas (sintéticas ou naturais) é um método indireto de espumação. Advera[®] e Aspha-Min[®] são produtos conhecidos para a produção de misturas asfálticas mornas segundo esta técnica.

Os aditivos orgânicos redutores de viscosidade são ceras resistentes à deformação em temperatura ambiente. Em temperaturas entre 70 e 140°C tornam-se líquidos de baixa viscosidade podendo ser misturados a ligantes asfálticos convencionais e modificados por polímeros. Reduções significativas de viscosidade são obtidas acrescentando de 2 a 4% de aditivo ao ligante (Zaumanis, 2010; Butz, 20--?). As ceras Fischer-Tropsch são constituídas de longas cadeias de hidrocarbonetos alifáticos são fornecidas na forma granular ou em pó de cor branca, o aditivo Sasobit[®] é um exemplo deste tipo de cera. O aditivo AsphaltanB é uma cera de Montana utilizado na forma granular ou em pó de coloração marrom, constituído de hidrocarbonetos de elevado peso molecular. As ceras de amidas ácidas promovem redução de temperatura de produção e aplicação do concreto asfáltico entre 20 e 30°C a partir da adição na forma granular ou em pó de coloração branca, o LicomontBS é um exemplo deste tipo de cera (Mansfeld et al., 2009).

MATERIAIS E MÉTODOS

A partir das tecnologias concebidas mundialmente para a formulação de misturas asfálticas “mornas”, foi escolhida como base para o desenvolvimento desta pesquisa a adição de zeólitas. Busca-se, com este experimento, verificar a influência da técnica nas características mecânicas das misturas asfálticas formuladas. As zeólitas são aluminosilicatos cristalinos hidratados de metais alcalinos e alcalinos terrosos que possuem estrutura cristalina tri-dimensional infinita, caracterizados pela habilidade de perder e ganhar água reversivelmente e de trocar alguns de seus elementos constituintes sem maiores mudanças na estrutura. A zeólita utilizada é uma zeólita

natural e possui uma granulometria em torno de 325 mesh (equivalente ao material passante em uma peneira com abertura 0,044 mm).

Para caracterização e verificação de desempenho das misturas projetadas, realizaram-se os ensaios de resistência à tração (RT), módulo de resiliência (MR), resistência ao dano por umidade induzida (Lottman Modificado), desgaste por abrasão Cantabro e fadiga por compressão diametral a tensão controlada. Os resultados foram comparados com os obtidos para uma mistura asfáltica a quente com CAP 50/70.

No desenvolvimento desta pesquisa foram utilizados agregados de rocha basáltica, areia de rio e cal hidratada para a composição granulométrica das misturas estudadas. O projeto da mistura asfáltica foi elaborado através do método de dosagem Marshall (DNER ME 043/95) respeitando os limites de volume de vazios e relação betume-vazios. Os corpos-de-prova (CP) foram confeccionados de forma a enquadrar-se na Faixa “C” do DNIT (DNIT ES 031/2006).

Na formulação de misturas asfálticas mornas foi empregado cimento asfáltico convencional (CAP 50/70). O ensaio empregando o viscosímetro Brookfield foi utilizado para a determinação da temperatura de mistura do ligante. A partir dos resultados a faixa de temperaturas adotada foi 157 - 164°C, para garantir o cobrimento adequado dos agregados.

Para o projeto da mistura asfáltica morna estipulou-se, baseado na literatura, o teor de zeólita a ser utilizado em 0,3% sobre o peso total (ligante + agregado). Analisou-se a influência da granulometria da zeólita trabalhando com duas amostras de material: uma mais granular (passante na peneira n. 10 e retido na peneira n. 80 – fração areia) e uma mais fina (passante na peneira 200 – fíler).

Para estabelecer o melhor conjunto de temperaturas de trabalho foram realizados testes de mistura e compactação avaliando o cobrimento dos agregados e a trabalhabilidade da mistura, bem como as características volumétricas e o comportamento mecânico dos materiais resultantes empregando o ensaio de resistência à tração por compressão diametral (RT). Foram avaliadas temperaturas de mistura de 120, 110 e 100°C e de compactação de 85 e 95°C.

RESULTADOS

As principais características das misturas produzidas são apresentadas na Tabela 1. É possível observar que a granulometria da zeólita adicionada tem pouca influência sobre as características volumétricas das amostras. No entanto, as temperaturas de mistura e compactação têm papel fundamental tanto na volumetria quanto na resistência à tração das misturas produzidas. Os resultados mais próximos aos alcançados pela mistura de comparação e com melhores características foram obtidos para os conjuntos de temperaturas 110 e 95°C e 120 e 95°C (mistura e compactação). A redução é bastante significativa uma vez que para a mistura convencional estas temperaturas são próximas de 160 e 140°C.

A partir da verificação de que a granulometria da zeólita utilizada não influencia as características das misturas produzidas, foram adotados dois conjuntos de temperaturas de estudo: 110 e 85°C e 120 e 95°C (mistura e compactação). Nesta etapa também buscou-se avaliar

a influência do período de condicionamento nas características do concreto asfáltico, sendo assim foram avaliados 4 conjuntos de amostras, além da mistura de comparação produzida com CAP 50/70 a quente:

- 110 e 85°C sem condicionamento = 110/85°C_0h;
- 110 e 85°C com 2 horas de condicionamento = 110/85°C_2h;
- 120 e 95°C sem condicionamento = 120/95°C_0h e
- 120 e 95°C com 2 horas de condicionamento = 120/95°C_2h.

Tabela 1: Características volumétricas das misturas

	D. aparente	V _v (%)	VAM (%)	RBV (%)	RT (MPa)
Comparação	2,43	4,0	17	76	1,20
Ret # 80 (100 - 85°C)	2,41	4,8	18	73	0,93
Ret # 80 (110 - 85°C)	2,42	4,6	18	74	1,14
Ret # 80 (120 - 85°C)	2,42	4,6	18	74	1,13
Ret # 80 (110 - 95°C)	2,43	4,1	17	76	1,14
Ret # 80 (120 - 95°C)	2,44	3,9	17	78	1,21
Pass #200 (100 - 85°C)	2,42	4,4	18	75	1,02
Pass #200 (110 - 85°C)	2,41	4,7	18	74	1,05
Pass #200 (110 - 95°C)	2,43	4,2	18	76	1,12

Foram realizados ensaios de módulo de resiliência, resistência à tração na compressão diametral, desgaste por abrasão Cantabro, fadiga por compressão diametral e resistência ao dano por umidade induzida.

Módulo de resiliência e resistência à tração

A Tabela 2 apresenta os resultados de MR e RT das misturas avaliadas. É possível observar que o período de condicionamento e o aumento das temperaturas promovem aumento na resistência à tração do concreto asfáltico produzido com zeólita. Não foi verificada variação significativa nos valores de módulo de resiliência. As misturas mornas, em comparação com o concreto asfáltico convencional (Comparação), apresentaram comportamento elástico inferior, no entanto não foi observada influência do período de condicionamento nos valores de MR obtidos para as misturas com zeólita.

Tabela 2: Características mecânicas das misturas estudadas

	RT (MPa)	MR (MPa)
Comparação	0,87	5.111
110/85°C_0h	1,00	3.568
110/85°C_2h	1,21	3.429
120/95°C_0h	1,13	3.304
120/95°C_2h	1,31	3.536

Resistência ao desgaste Cantabro

O ensaio Cantabro foi utilizado com o objetivo de avaliar as propriedades de coesão das misturas asfálticas produzidas em temperaturas intermediárias. Embora tenha sido desenvolvido para

misturas de granulometria aberta, este método tem sido empregado também em misturas densas. A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos no ensaio de perda de massa por desgaste realizado em amostras à temperatura de 25°C. Não foi observada variação significativa nos resultados dos ensaios, logo, nem a temperatura, nem o período de condicionamento influenciam o desgaste por abrasão das misturas estudadas.

Tabela 3: Perda de massa por desgaste Cantabro

	Perda (%)
Comparação	4,5
110/85°C_0h	3,3
110/85°C_2h	4,5
120/95°C_0h	3,6
120/95°C_2h	3,3

Resistência ao dano por umidade induzida

O ensaio de dano por umidade induzida pode ser utilizado para prever o desempenho de misturas asfálticas em relação à adesividade ligante/agregado e também para verificar o efeito da adição de melhoradores de adesividade na mistura. A redução das temperaturas de produção e aplicação das misturas asfálticas pode resultar em deficiência de adesividade, por dificuldade de cobrimento dos agregados pelo ligante asfáltico. A Tabela 4 apresenta as médias dos resultados dos ensaios de resistência à tração por compressão diametral das amostras sem e com condicionamento (RT_S e RT_C , respectivamente) bem como a resistência retida à tração (RRT). Considerando o limite mínimo de 75%, as misturas estudadas apresentaram resultados satisfatórios. Foram avaliadas apenas amostras compactadas imediatamente após a produção, por considerar-se esta condição crítica para esta característica.

Tabela 4: Resultados dos ensaios de dano por umidade induzida

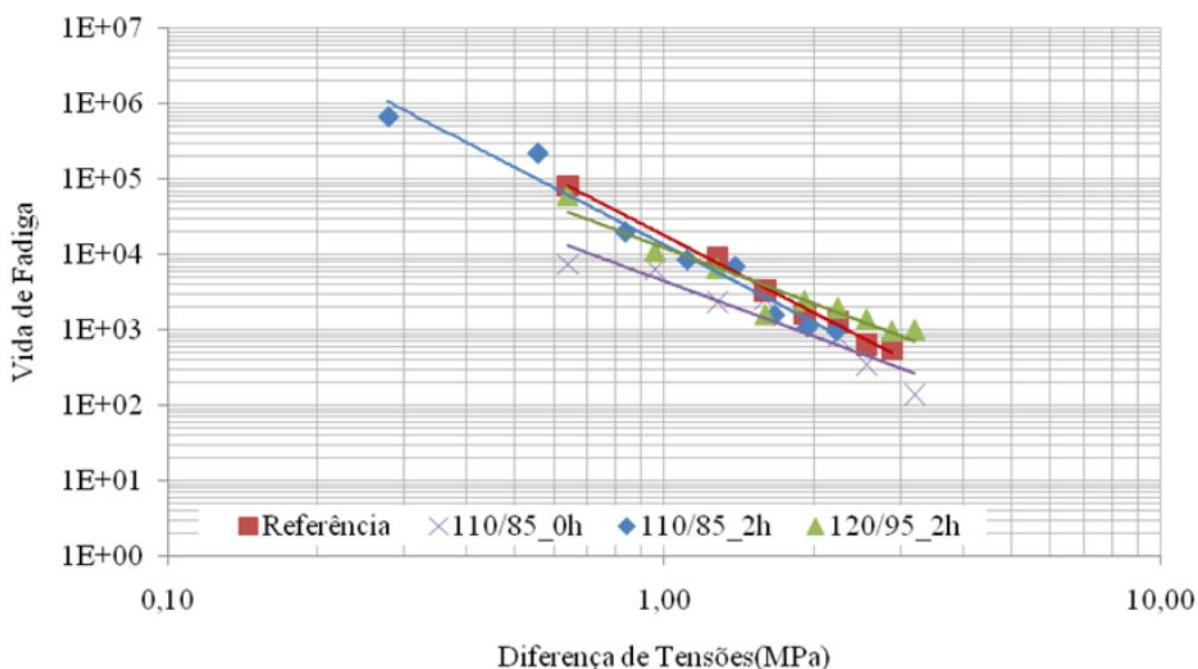
Identificação	RT_S (MPa)	RT_C (MPa)	RRT (%)
Comparação	0,70	0,54	77
110/85°C_0h	0,39	0,34	87
120/95°C_0h	0,46	0,34	75

Avaliação da vida de fadiga

O trincamento por fadiga é um dos defeitos mais comuns observados em pavimentos com baixo desempenho. É caracterizado pelo aparecimento de trincas longitudinais nas trilhas de roda que podem propagar-se pela superfície do pavimento formando trincas interligadas tipo couro de jacaré. As trincas observadas na superfície dos pavimentos podem ter seu início no topo da camada de revestimento, devido à ação de forças cisalhantes resultantes do tráfego, ou na fibra inferior da camada asfáltica resultando de tensões de tração excessivas.

A vida de fadiga das misturas estudadas nesta pesquisa foi avaliada empregando ensaios de fadiga por compressão diametral à tensão controlada a 25°C; o critério de ruptura neste tipo de ensaio é a ruptura do corpo de prova. A Figura 3 apresenta as curvas de fadiga para as misturas estudadas em função da diferença de tensões, cada ponto na curva representa um ensaio.

Figura 3: Curva de fadiga da mistura estudada em função da diferença de tensões



A curva que representa a vida de fadiga de uma mistura asfáltica em função da solicitação aplicada segue modelo da Equação (1):

$$N_f = a \times S^b \quad (1)$$

Onde: N_f : vida de fadiga;
 S : solicitação e
 a, b : constantes do modelo.

A Tabela 5 apresenta as constantes dos modelos gerados para a vida de fadiga da mistura estudada em função da tensão de tração e da diferença de tensões.

Tabela 5: Constantes do modelo de fadiga para as misturas estudadas

Mistura	Tensão de Tração (MPa)			Diferença de Tensões (MPa)		
	a	b	R ²	a	b	R ²
Comparação	162,92	-3,396	0,99	18062	-3,396	0,99
110/85°C_0h	154,97	-2,426	0,89	4475	-2,426	0,89
110/85°C_2h	119,89	-3,414	0,97	13612	-3,414	0,97
120/95°C_2h	411,20	-2,457	0,92	12394	-2,457	0,92

Para os resultados obtidos observa-se que a maior redução de temperatura (110/85°C) afetou negativamente o comportamento à fadiga em comparação às demais temperaturas. O período de condicionamento para este conjunto de temperaturas promoveu melhora no desempenho à fadiga. A mistura 120/95°C_2h apresentou os melhores resultados, sendo pouco dependente das tensões aplicadas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A busca de métodos produtivos mais eficientes, otimizando a utilização dos recursos naturais e limitando o impacto destas atividades sobre o meio ambiente é uma preocupação global, objetivando atingir um desenvolvimento sustentável.

A construção de pavimentos se enquadra neste contexto e pesquisas recentes têm procurado desenvolver tecnologias que proporcionem menor consumo energético e redução nas emissões de gases poluentes na atmosfera, entre elas destaca-se a produção e aplicação de misturas asfálticas mornas.

Em sintonia com as pesquisas mundiais, este trabalho buscou avaliar a utilização de zeólita na produção de misturas asfálticas mornas aplicáveis de acordo com a realidade da pavimentação brasileira. Esta técnica mostrou-se adequada para produção de misturas asfálticas a temperaturas intermediárias, resultando em materiais com características mecânicas muito próximas às observadas para a mistura asfáltica a quente de comparação.

REFERÊNCIAS

- Bardesi, A., Soto, J. A. (2010). Mezclas betuminosas a baja temperatura: mezclas en frío, templadas y semicalientes. In: INGEOPRES, n.191, pp. 16-26. Disponível em: <http://www.ingepress.es>. Acesso 13 de maio de 2013.
- Butz, T. () Warm Asphalt Mix – Technologies, Research and Experience, Sasol Wax GmbH.
- D'Angelo, J., Harm, E., Bartoszek, J., Baumgardner, G., Corrigan, M., Cowser, J., Harman, T., Jamshidi, M., Jones, W., Newcomb, D., Prowell, B., Sines, R., Yeaton, B. (2008). *Warm-Mix Asphalt: European Practice*. European Tour FHWA. American Trade Initiatives.
- Hurley, G. C., Prowell, B. D. (2006). Evaluation of potential processes for use in warm mix asphalt. In: Association of Asphalt Paving Technologists Annual Meeting, 81., Savannah, 2006. Annual Meeting and Technical Sessions. Savannah: AAPT, V.75, 2006. CD ROM.
- Kristjansdottir, O. (2006). Warm Mix Asphalt for Cold Weather Paving. Master of Science Thesis. University of Washington.
- Mansfeld, R. et al. Warm Mix Asphalt – Tips and tricks developed by professionals for professionals. Bonn: German Asphalt Paving Association, 2009.
- Newcomb, D. (2007). An Introduction to Warm-mix Asphalt. Disponível em: <http://www.hotmix.org>. Acesso 13 de maio de 2013.
- Zaumanis, M. (2010). Warm Mix Asphalt Investigation. Master of Science Thesis, Technical University of Denmark.