

IAG340-04-2013
ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE MEZCLA DE
ASFALTO TIPO CAUQ CON CAP 50/70 MODIFICADO CON MOTIVO DE
ACEITE GRASA
ESTUDO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DE MISTURA
ASFÁLTICA TIPO CAUQ COM CAP 50/70 MODIFICADO COM BORRA
OLEOSA DE PETRÓLEO

Denes Carlos Santos da Graça/PEQ
Universidade Federal de Sergipe
São Cristóvão/SE, Brasil
E-mail tubaoph@yahoo.com.br

Gisélia Cardoso
Universidade Federal de Sergipe/DEQ
São Cristóvão/SE, Brasil
E-mail giselia@ufs.br

Erinaldo Hilário Calvacante
Universidade Federal de Sergipe/DEC
São Cristóvão/SE, Brasil
E-mail erinaldo@ufs.br

Resumen

Este trabajo tiene como objetivo el uso de la borra oleosa del fondo de tanque, originada de unidad de tratamiento primaria de petróleo, un pasivo de difícil disposición en el ambiente, como agente de cambio de cemento asfáltico de petróleo, CAP 50/70, y evaluar el desempeño de la liga modificada en la obtención de una mezcla de tipo concreto bituminoso asfalto usinado a caliente (CAUC). Debido a la difícil dispersión de la borra oleosa de petróleo en el CAP 50/70, *masterbatch's* de caucho de neumáticos que no sirven con borra oleosa de petróleo, respectivamente, en las proporciones 15/85% y 85/15% en masa, fueron preparadas y utilizadas como agentes de cambio del CAP 50/70, en las cantidades de 10 y 20% en masa. Para eso, borra de petróleo, caucho de neumáticos y CAP 50/70 no cambiados y cambiados fueron caracterizados por análisis termo-gravimétrica para evaluar sus estabilidades térmicas en la temperatura convencional de usinaje y compactación de mezclas del tipo CAUC y por reología, en placas paralelas, en la temperatura máxima de exposición del pavimento en la región del Nordeste de Brasil, por medio del reómetro de cizallamiento dinámico, de *TA Instruments* – modelo CSR II, en el modo rotacional, en la referida temperatura de usinaje y compactación, a través del reómetro *Brookfield modelo DV-III Ultra*, para evaluar la influencia de los modificadores en el comportamiento reológico de la liga CAP 50/70. Los resultados obtenidos demuestran que la borra de petróleo presenta potencial tecnológico suficiente para cambiar el CAP 50/70 y que la liga cambiada atiende a las especificaciones brasileñas, en lo que se refiere a la temperatura de

usinaje y compactación de mezclas de CAUC, empleadas en revestimiento del suelo de carreteras.

Resumo

Este trabalho tem por objetivo utilizar borra oleosa de fundo de tanque, oriunda de unidade de tratamento primário de petróleo, um passivo de difícil disposição no ambiente, como agente de modificação de cimento asfáltico de petróleo, CAP 50/70, e avaliar o desempenho do ligante modificado na obtenção de uma mistura betuminosa do tipo concreto asfáltico usinado a quente (CAUQ). Devido à difícil dispersão da borra oleosa de petróleo no CAP 50/70, *masterbatch's* de borracha de pneus inservíveis com borra oleosa de petróleo, respectivamente, nas proporções 15/85% e 85/15% em massa, foram preparadas e utilizadas como agentes modificadores do CAP 50/70, nas quantidades de 10% e 20% em massa. Para tal, borra oleosa de petróleo, borracha de pneus inservíveis e CAP 50/70 não modificado e modificado foram caracterizados por análise termogravimétrica, para avaliar as suas estabilidades térmicas na temperatura convencional de usinagem e compactação de misturas do tipo CAUQ e por reologia, em placas paralelas, na temperatura máxima de exposição de pavimento na região Nordeste do Brasil, através de reômetro de cisalhamento dinâmico, da *TA Instruments* - modelo CSR II, no modo rotacional, na referida temperatura de usinagem e compactação, através do reômetro Brookfield, modelo *DV-III Ultra*, para avaliar a influência dos modificadores no comportamento reológico do ligante CAP 50/70. Os resultados obtidos mostram que a borra de petróleo apresenta potencial tecnológico suficiente para modificar o CAP 50/70, e que o referido ligante modificado atende às especificações brasileiras, no que se refere à temperatura de usinagem e compactação de misturas do tipo CAUQ, empregadas em revestimentos de pavimento rodoviário.

INTRODUÇÃO

Modificadores de asfaltos como polímeros, borrachas de pneus e borra oleosa dentre outros, vêm sendo estudados (Wu *et. al.*, 2009; Farias, 2011; Santos, 2008) há mais de uma década para melhor adequação de ligantes asfálticos às condições de uso.

O pneu é um produto essencial para a indústria automobilística. Contudo, seu material é não biodegradável e grande quantidade é descartada em depósitos que ocupam áreas extensas, causando prejuízos ao ambiente. Acredita-se que a solução mais promissora para os pneus inservíveis é retorná-los para as estradas na forma de modificador de ligante asfáltico. Segundo Oliveira (2007), apesar do revestimento rodoviário com uso do ligante asfalto-borracha ter preço de mercado 30% acima do convencional, para os seus fabricantes vale a pena o investimento, porque este chega a durar até três vezes mais, dependendo das condições climáticas e da carga de tráfego das rodovias.

A indústria petrolífera em todas as suas operações, desde a perfuração até a distribuição dos derivados, gera resíduos oleosos de diversos tipos. Segundo Teixeira e Marcilio (2007) as refinarias respondem pela maior parte dos resíduos gerados, dos quais se destacam os resíduos oleosos acumulados no fundo dos tanques de óleo cru, lodos oleosos, lodos das torres de resfriamento, catalisadores gastos, resíduos das torres de trocadores de calor, finos de coque e

águas residuais. Os resíduos oleosos de fundo de tanques, denominados borras oleosas de petróleo, são misturas multifásicas, compostas basicamente de emulsões água/óleo e sólidos (orgânicos e inorgânicos) que adsorvem o óleo, e por sedimentação formam resíduos ricos em frações pesadas de óleo cru e areia.

Diante das considerações postas, a motivação para a realização desse estudo foi desenvolver uma rota tecnológica para obter ligante modificado com borra oleosa de petróleo, com o mesmo desempenho tecnológico ou superior aos existentes no mercado, e minimizar o impacto ambiental causado por seu descarte. Para tal, borra oleosa de petróleo advinda de fundo de tanque de tratamento primário de óleo cru, passivo de difícil disposição no ambiente, foi utilizada como modificador do ligante asfáltico CAP 50/70 e devido à sua difícil dispersão no referido ligante asfáltico, pré-misturas de borra oleosa de petróleo e borracha de pneus inservíveis (*masterbatch's*) foram preparadas e caracterizadas quanto ao comportamento reológico, no modo dinâmico e rotacional, nas temperaturas de uso (60°C) e de usinagem (170°C) e, quanto à obtenção de misturas asfálticas e à resistência mecânica por meio de medidas da resistência à tração por compressão diametral (RTDC) e do módulo de resiliência (MR), para se avaliar a capacidade de processamento do CAP 50/70 modificado, seguindo o método convencional de dosagem Marshall.

MATERIAIS E MÉTODOS

Materiais

Os materiais utilizados foram o ligante asfáltico de petróleo CAP 50/70, cedido pela EMURB – Empresa Municipal de Obras e Urbanização de Aracaju/SE; a borra oleosa de petróleo, advinda de fundo de tanque de tratamento primário de petróleo, gentilmente cedida pela Petrobras/UO-SEAL, e, borracha de pneus inservíveis, oriunda de unidade de recauchutagem de pneus da cidade de Itabaiana/SE, na forma de partícula, de dimensões inferiores a 0,595 mm.

Para a obtenção das misturas asfálticas foram utilizados como agregados minerais, brita de ½ pol. e pó de pedra com diâmetro inferior a 4,8 mm, provenientes da pedreira Dinâmica e areia proveniente da jazida Aldeia, ambas situadas no Estado de Sergipe. Como *filer*, foi utilizado o cimento Portland CP-II-Z-32-RS, da marca POTY, do Grupo Votorantim. A Tabela 1 mostra de forma condensada as nomenclaturas usadas nas amostras em estudo.

Tabela 1: Nomenclatura das amostras em estudo

Sigla	Descrição
CAP 50/70	Ligante asfáltico
M1	<i>Masterbatch</i> (15% de borracha de pneus em massa + 85% de borra oleosa de petróleo)
M2	<i>Masterbatch</i> (85% de borracha de pneus em massa + 15% de borra oleosa de petróleo)
CM1-10	CAP 50/70 modificado com 10% em massa de <i>masterbatch</i> M1
CM1-20	CAP 50/70 modificado com 20% em massa de <i>masterbatch</i> M1
CM2-10	CAP 50/70 modificado com 10% em massa de <i>masterbatch</i> M2
CM2-20	CAP 50/70 modificado com 20% em massa de <i>masterbatch</i> M2

Métodos

Preparação do masterbatch

Os dois *masterbatch's* em estudo, M1 e M2, foram preparados a partir da mistura borracha de pneus inservíveis, na forma de partículas de dimensões inferiores a 0,595 mm, e borra oleosa de petróleo, na temperatura de $100^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, sob agitação mecânica de 40 ± 2 rpm, durante 40 ± 5 minutos.

Comportamento Térmico dos Materiais em Estudo

Os ensaios de TGA foram realizados, no CAP 50/70, na borra oleosa de petróleo e na borracha de pneus inservíveis no modo dinâmico, com o objetivo de avaliar possíveis perdas de massa na faixa de temperatura de 25°C até 200°C , e na borra oleosa de petróleo, também no modo isotérmico, na temperatura de processamento e compactação das misturas asfálticas (170°C), durante 500 minutos, para avaliar a sua resistência térmica. Todas as análises foram realizadas sob atmosfera de nitrogênio, a uma vazão de 40 mL/s e taxa de aquecimento de $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$, utilizando um equipamento DSC 2010 da TA Instruments.

Comportamento reológico

O comportamento reológico do CAP 50/70 e dos ligantes modificados, CM1 e CM2, na temperatura de usinagem e compactação de misturas asfálticas do tipo CAUQ (170°C) foi avaliado através do viscosímetro Brookfield modelo *DV-III Ultra*, em modo contínuo de cisalhamento, e, na temperatura máxima de uso (60°C) através do reômetro de cisalhamento dinâmico em placas paralelas, da *TA Instruments – CSR II*, em modo contínuo e oscilatório, usando corpos de prova na forma de disco, nas dimensões de 25 mm de diâmetro e 2,0 mm de espessura, confeccionados na referida temperatura de usinagem e compactação.

Caracterização Física dos Agregados

Para a confecção das misturas asfálticas, agregados miúdos e graúdos foram previamente caracterizados quanto à distribuição de tamanho de partícula de acordo com a Norma DNIT 031/2004 – ES e quanto à determinação da massa específica dos agregados miúdos (areia e pó de pedra) e graúdos (brita), seguindo a Norma DNER – ME 194/98 e Norma NBR 6458/84, respectivamente.

Obtenção de Misturas Asfálticas e Realização de Ensaios Mecânicos

Na obtenção de misturas asfálticas e corpos de prova para os ensaios mecânicos de resistência à tração por compressão diametral (RTCD), conforme a Norma DNIT – ME 136/2010, e determinação de módulo de resiliência (MR) conforme a Norma DNER – ME 133/94, dosagem de ligante asfáltico foi realizada pelo método Marshall, seguindo a Norma DNER-ME 043/95.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Comportamento Térmico

As análises termogravimétricas realizadas no modo dinâmico para CAP 50/70 e os agentes modificadores: borra oleosa de petróleo e borracha de pneus inservíveis, mostraram que a borra de petróleo apresenta um pico endotérmico na temperatura de $75 \pm 2^{\circ}\text{C}$ que pode ser atribuído à

presença de mudança de fase cristalina. Com relação à perda de massa, observou-se que a variação de massa, em todas as amostras, não é significativa, na faixa de temperatura de 25 a 200°C. A curva do comportamento termogravimétrico isotérmico para a borra oleosa de petróleo quando submetida a 170°C, durante 500 minutos (8h20min), mostrou que a perda de massa não é significativa, o que denota uma alta resistência térmica da borra oleosa de petróleo, em estudo, na temperatura convencional de usinagem e compactação de misturas asfálticas.

Comportamento Reológico em Regime Permanente

As Figuras 1(a, b) mostram o comportamento da tensão de cisalhamento e da viscosidade, com a taxa de cisalhamento, do CAP 50/70 e dos ligantes modificados CM1-10, CM1-20, CM2-10 e CM2-20, na temperatura de 170°C. Observa-se que somente o CAP 50/70 apresenta um caráter Newtoniano, concordando com os resultados apresentados na literatura (Bernucci *et al.*, 2000 e Polacco *et al.*, 2008), enquanto que o comportamento das tensões de cisalhamento e das viscosidades dos ligantes modificados mostram desvio do comportamento Newtoniano, sendo este mais acentuado nos modificados CM2-10 e CM2-20, o que pode ser atribuído ao alto teor de borracha no agente modificador.

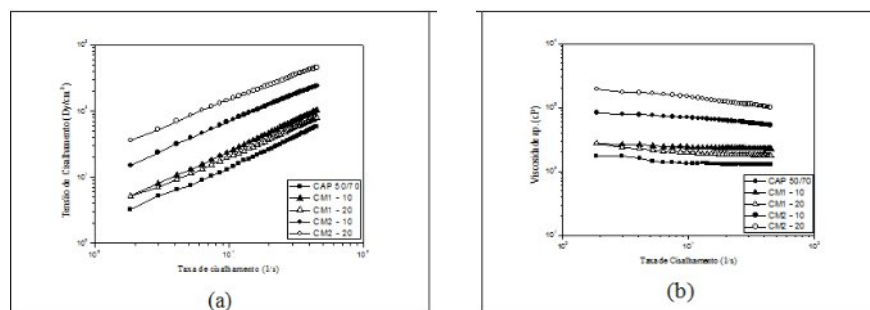


Figura 1: Comportamento reológico em regime permanente do CAP 50/70 e ligantes modificados - CM1-10; CM1-20; CM2-10 e CM2-20, na temperatura de 170°C ± 1: (a) tensão cisalhamento versus taxa de cisalhamento e (b) viscosidade aparente versus taxa de cisalhamento

As Figuras 2 (a, b) mostram o comportamento da tensão de cisalhamento e da viscosidade aparente em função da taxa de cisalhamento do CAP 50/70 e dos ligantes modificados CM1-10, CM1-20, CM2-10 e CM2-20, obtidos de análise reológica, em placas paralelas e modo de cisalhamento contínuo, na temperatura de 60°C. Observa-se o comportamento newtoniano para o CAP 50/70, e comportamento não-Newtoniano para os ligantes modificados o que concordam com os resultados obtidos na caracterização reológica a 170°C.

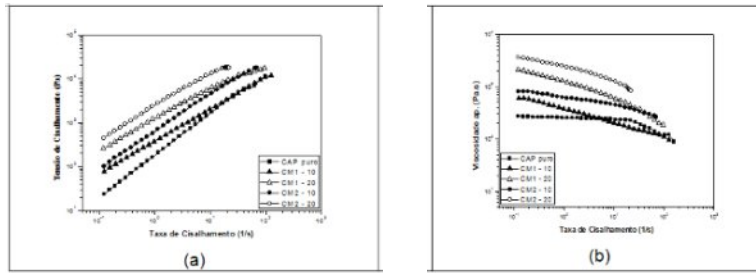


Figura 2: Comportamento reológico do ligante CAP 50/70 e ligantes modificados CM1-10, CM1-20, CM2-10 e CM2-20, na temperatura de 60 °C. (a, b) tensão de cisalhamento e viscosidade em função da taxa de cisalhamento realizado em placas paralelas e modo contínuo

As Figuras 3(a, b) mostram o comportamento dos módulos elástico $G'(\omega)$ e viscoso $G''(\omega)$ em função da frequência do CAP 50/70 e dos ligantes modificados, na temperatura de 60 °C. Observa-se que a adição dos modificadores aumentou os módulos elásticos e viscosos. Contudo, com maior aproximação entre eles. Isto significa que os ligantes modificados apresentam uma melhor trabalhabilidade, já que um maior equilíbrio entre as componentes viscosas e elásticas do material possibilita um melhor desempenho do revestimento asfáltico em pavimento rodoviário quando submetido às deformações, especialmente as causadas por elevação da temperatura.

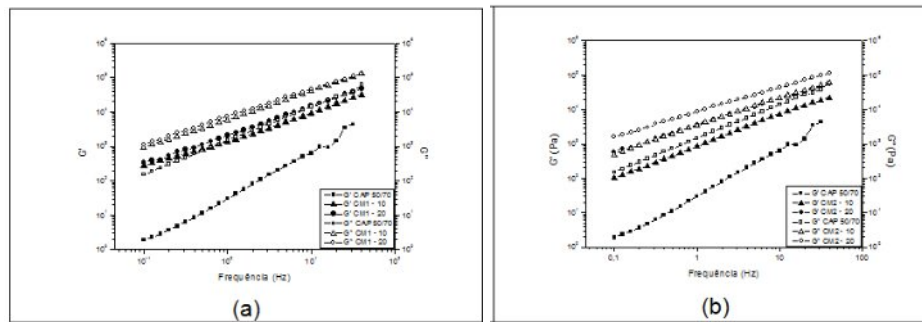


Figura 3: Comportamento reológico realizado em placas paralelas e modo oscilatório na temperatura de 60 °C, do ligante CAP 50/70 e ligantes modificados (a) $G'(\omega)$ e $G''(\omega)$ do CM1-10, CM1-20 e (b) $G'(\omega)$ e $G''(\omega)$ do CM2-10 e CM2-20, em função da frequência

Misturas Asfálticas

Apesar de, em termos volumétricos, o ligante se encontrar em menor proporção do que os demais componentes na mistura (exceto o *filler*), o CAP juntamente com o agregado fino forma o que se denomina de mástique asfáltico, que é responsável pela adesão entre as partículas dos agregados, devendo recobri-las e conferir à mistura asfáltica propriedades mecânicas importantes, tais como a estabilidade química e física, flexibilidade, durabilidade, resistência à fadiga, impermeabilidade, trabalhabilidade, compactabilidade e aderência.

Na preparação das misturas asfálticas do tipo CAUQ, o teor de projeto de ligante, em dosagem Marshall, seguindo as Normas DNER-ME 043/95, foi obtido com base em experiências anteriores dos técnicos do Laboratório de Geotecnia e Pavimentação (GEOPAV) da UFS, para os

ligantes CAP 50/70 e modificado CM1-10, partindo-se de uma concentração central de ligante de 5% em massa, mantendo-se fixo a composição percentual dos agregados, e variando-se este valor em $\pm 0,5\%$, até se atingir os teores inferiores e superiores de 4,0 % e 6,0 %, respectivamente. O valor do teor de projeto de ligante obtido foi empregado na preparação de todas as misturas em estudo.

A Tabela 2 mostra o percentual em massa dos agregados em função da variação percentual do teor de ligante em dosagem Marshall para o CAP 50/70 e o ligante modificado CM1-10.

Tabela 2: Composição percentual em massa dos agregados em função da variação do teor de ligante em dosagem Marshall para o CAP 50/70 e modificado CM1-10

MISTURA	BRITA (%)	PÓ DE PEDRA (%)	AREIA (%)	FILLER (%)	CAP 50/70 (%)
1	40	30	25	5	4,0
2	40	30	25	5	4,5
3	40	30	25	5	5,0*
4	40	30	25	5	5,5
5	40	30	25	5	6,0

* (valor de partida)

Com base no procedimento descrito por Bernucci *et al.*, 2006, construiu-se o gráfico betume vazios (RBV) e volume de vazios (Vv) versos o teor de ligante asfáltico para a mistura asfáltica com o CAP 50/70 modificado CM1-10. Na Figura 4 considerando os pontos das linhas de Vv máx e RBV máx, obtém-se os pontos X1 e X4 respectivamente. Considerando o ponto X2 resultante do cruzamento das linhas de distribuição dos pontos, Vv e RBV, e o ponto X3, referente ao Vv mínimo, o teor de projeto do ligante, a ser utilizado é dado pela média aritmética entre o ponto X2 e o ponto X3, podendo este ser aproximado para o teor de ligante de moldagem mais próximo dos valores arbitrados na dosagem, o que neste estudo foi determinado ser 5,5 %. O valor encontrado foi utilizado para todas as misturas asfálticas em estudo.

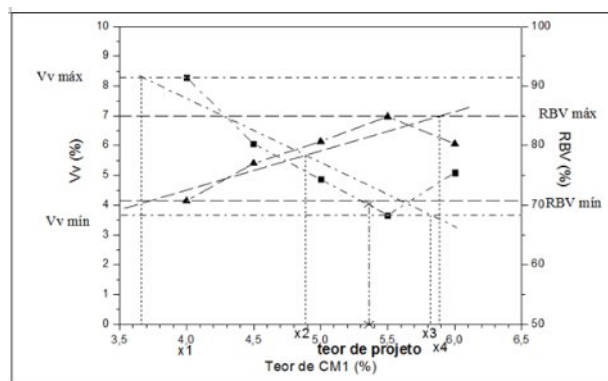


Figura 4: Curva de determinação do teor de projeto de ligante para o CAP 50/70 e o ligante modificado CM1-10

As Figuras 5 (a, b) mostram o comportamento mecânico das misturas asfálticas: (a) resistência à tração por compressão diametral (RTCD); e (b) módulo de resiliência (MR), ambos obtidos a

partir do valor médio de 03 (três) corpos de provas para cada mistura asfáltica em estudo, com os seus respectivos desvios médios.

Observa-se na Figura 5(a) que com relação ao CAP 50/70, os ligantes modificados com maior teor de borra oleosa de petróleo, CM1-10 e CM1-20, há um aumento significativo do RTDC, o que pode ser atribuído às características do comportamento reológico observadas nas Figuras 1(a, b) onde os referidos ligantes modificados apresentam um pequeno afastamento do caráter Newtoniano na temperatura de usinagem e compactação estabelecida pelas Normas DNER-ME 043/95, o que de certo lhe conferiu melhor trabalhabilidade.

Na Figura 5(b) observa-se que os ligantes modificados apresentam maiores MR em relação ao CAP 50/70, e que o ligante CM1-10 apresenta maior MR e menor desvio médio o que pode ser atribuído às características do comportamento reológico observadas nas Figuras 2(a, b) onde o referido ligante apresenta uma maior aproximação entre os módulos elástico e viscoso na temperatura de uso e o menor desvio se deve a uma maior adequação às condições de usinagem e compactação. Pode-se concluir que, mais importante que os valores obtidos com o uso do CAP modificado, o fato da inclusão dos resíduos industriais não ter prejudicado o comportamento mecânico da mistura por si só representa o aspecto mais importante do resultado da pesquisa.

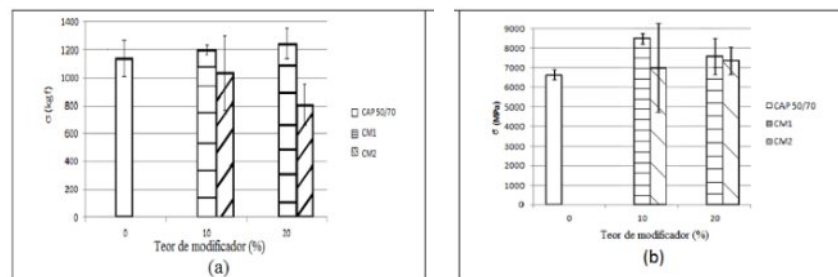


Figura 5: Comportamento mecânico das misturas asfálticas com CAP 50/70 e ligante Modificado CM1 e CM2 em função da concentração de agente modificador. (a) RTCD e (b) MR

CONCLUSÕES

A borra de petróleo e a borracha de pneus apresentaram estabilidade térmica na temperatura de usinagem e compactação de mistura asfáltica do tipo CAUQ o que lhes atribui potencial de uso como modificador de ligante asfáltico para uso em revestimento de pavimento rodoviário; A preparação de *masterbatch* é um procedimento viável para dispersar borra oleosa de petróleo em ligante asfáltico; Os ligantes modificados apresentaram comportamento não-Newtoniano; O ligante modificado CM1 apresentou RTCD e MR em relação ao CAP 50/70 e modificado CM2, donde se conclui que é possível obter um *masterbatch* borra oleosa de petróleo e borracha de pneus com alto teor de borra de interesse para uso em revestimento de pavimento; A quantidade de *masterbatch* a ser inserido no CAP 50/70 mostrou ter influência direta na temperatura de usinagem e compactação; e, finalmente, é possível a utilização dos ligantes modificados empregados nesta pesquisa para a obtenção de mistura asfáltica CAUQ para revestimento de pavimento, sem descumprir as especificações contidas na Norma DNER – ME 043/95.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), à Petrobras pelo apoio financeiro, a EMURB/SE/Brasil pela doação do ligante e ao laboratório de GEOPAV/DEC/UFS.

REFERÊNCIAS

- Bernucci, L. B.; Motta, L. M. G.; Ceratti, e Fonseca, J.B. **Pavimentação Asfáltica: Formação Básica para Engenheiros**. Rio de Janeiro: PETROBRAS: ABEDA, 2006.
- DNER – ME 035/95 - Especificação de material - DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. IPR, Rio de Janeiro.
- DNER – ME 043/95 – Método de Ensaio - DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Misturas betuminosas a quente – ensaio Marshall. IPR, Rio de Janeiro.
- DNER – ME 138/94 (1994) - Misturas Betuminosas - Determinação da Resistência à Tração por Compressão Diametral - DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, IPR, Rio de Janeiro.
- DNER – ME 194/98 – Massa específica real - DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Rio de Janeiro.
- DNIT – ES 031/2004 – Pavimentos flexíveis - Concreto asfáltico - Especificação de serviço - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias – Rio de Janeiro.
- Farias, R. S.; Rocha, E. O. R.; Freitas, G. B.; Santos, D.C. Cardoso, G. Uso de borra oleosa e borracha de pneus inservíveis na modificação de ligante asfáltico de petróleo CAP 50/70. Universidade Federal de Sergipe - UFS, São Cristóvão – SE. **Anais do 11º Congresso Brasileiro de Polímeros – Campos do Jordão, SP – 2011.**
- NBR – 6458 – OUT/1984 – Agregado graúdo – Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água.
- Oliveira, O. J. **Docentes da UNESP: Estudo da Destinação e da Reciclagem de Pneus Inservíveis no Brasil. A energia que move a produção: um diálogo sobre integração, projeto e sustentabilidade.** XXVII Encontro Nacional de Energia de Produção. (UNESP). Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 2007.
- Santos, S. de J. **Docentes da UFS: Caracterização térmica, química e reológica de asfalto modificado com borracha.** Universidade Federal de Sergipe. São Cristóvão, 2008.
- Teixeira, G. H. e Marcilio, N. R. **Tratamento térmico de resíduos da indústria de refino de petróleo.** VI Oktober fórum – PPGEQ. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Seminário do programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, 2007.
- Wu, S.; Pang. L.; Tongmo, L.; Chunchen, Y.; Junzhu. Influence of aging on the evolution of structure, morphology and rheology of base and SBS modified bitumen. Laboratory of Silicate Materials Science and Engineering of Ministry of Education, Wuhan. **Construction and Building Materials** 23 (2009) 1005–1010.