

ESTUDO DA APLICABILIDADE DE BORRA OLEOSA ASFÁLTICA PURA COMO MATERIAL PARA PAVIMENTOS DE BAIXO VOLUME DE TRÁFEGO

Michéle Dal Toé Casagrande
Daniel Rodrigues do Nascimento
Cícero de Souza Lima
Jorge Barbosa Soares

Laboratório de Mecânica dos Pavimentos – LMP
Departamento de Engenharia de Transportes – DET
Universidade Federal do Ceará – UFC

RESUMO

As refinarias são responsáveis pela maior parte dos resíduos gerados na indústria petrolífera, dos quais se destacam os produtos acumulados no fundo dos tanques, como o resíduo de cimento asfáltico de petróleo, conhecido como borra oleosa asfáltica pura, objeto de estudo desta pesquisa. O presente trabalho visa avaliar o uso deste resíduo como material componente das camadas de revestimento asfáltico para pavimentos de baixo custo, tendo suas características comparadas às do CAP convencional, através de misturas do tipo concreto asfáltico. Foram analisados parâmetros de viscosidade e temperaturas de compactação e usinagem, bem como o comportamento mecânico das misturas, por meio de ensaios de módulo de resiliência e resistência à tração. Verificou-se o potencial de uso da borra oleosa asfáltica pura como ligantes em camadas de revestimento asfáltico para pavimentos de baixo volume de tráfego, possibilitando uma destinação mais nobre deste material, tanto no ponto de vista ambiental quanto sócio-econômico.

ABSTRACT

The refineries are responsible for great part of the residues produced in the petroleum industry. Among the residues, an important one is the asphalt binder oil residue, accumulated in the bottom of the tanks, which is the object of this research. The present study aims to evaluate the use of the asphalt oil residue as a binder for asphalt layers used in low cost pavements, comparing the results with conventional asphalt binders used in hot asphalt mixes. Parameters of viscosity and temperatures were evaluated, as well as the mechanical behavior of the mixtures, using resilient modulus and indirect tensile strength tests. The results indicate the potential of this material to be used in asphalt pavements for low traffic roads, allowing an economic and environmental correct use of the residue.

1. INTRODUÇÃO

Em praticamente todas as operações, desde a perfuração até a distribuição dos derivados, passando pelas etapas de produção, armazenamento, transporte e refino, a indústria petrolífera gera resíduos oleosos de diversos tipos. As refinarias respondem pela maior parte dos resíduos gerados na indústria do petróleo, dos quais destacam-se os produtos acumulados no fundo dos tanques de óleo cru, lodos oleosos, lodos das torres de resfriamento, catalisadores gastos, resíduos das torres de troca de calor, finos de coque e águas residuárias. Muitos destes resíduos podem conter materiais considerados potencialmente perigosos para a saúde e o meio ambiente. Durante muito tempo a maior preocupação com os resíduos da indústria do petróleo situou-se apenas na redução do teor de óleos contidos nestes. Este procedimento visava recuperar a parcela com valor comercial, sobrando, ao final deste processo, um resíduo conhecido como borra de petróleo. A grande variedade de resíduos sólidos e semi-sólidos gerados nestas unidades, aliada à presença de substâncias potencialmente tóxicas tem exigido dos profissionais envolvidos no gerenciamento destes resíduos exaustivos esforços na busca de soluções apropriadas, sem prejuízo à saúde pública e ao meio ambiente.

Os resíduos oleosos e viscosos formados durante as etapas de produção, transporte e refino,

denominados borras oleosas, são emulsões basicamente compostas por óleo, água e sólidos grosseiros. Características como a composição extremamente variável, dificultam o seu reaproveitamento, além de conferir-lhes significativa recalcitrância. Os resíduos coletados nas diversas áreas das refinarias são encaminhados para a central de resíduos para que sejam segregados, pesados, embalados e encaminhados para a disposição temporária ou disposição final. A geração de borra oleosa não é resultado do processo de produção de combustíveis e derivados e sim dos processos que operacionalizam o sistema produtivo, ou seja, os processos que gerenciam a entrada e estocagem de matéria-prima, estocagem e expedição de produtos, manutenção de equipamentos, tanques e materiais, limpeza de tubovias e canaletas de águas oleosas, procedimentos operacionais e problemas de comunicação (Magalhães, 2006).

O resíduo estudado na presente pesquisa foi cedido pela refinaria Lubrificantes do Nordeste (Lubnor)/Petrobras, localizada em Fortaleza-CE, onde, uma média de 56 toneladas de borra de tanque é gerada por ano. A busca por tratamentos eficazes que possam ser implementados a um custo acessível é um problema de difícil solução dentro do programa de gerenciamento de resíduos da indústria petrolífera. Os métodos mais empregados no tratamento desses resíduos são: a incineração (processo utilizado para eliminar o conteúdo orgânico do resíduo oleoso oriundo de poluição, reduzindo-o a cinzas, que podem ser dispostas e misturadas ao solo), co-processamento (processo de combustão do resíduo oleoso, em fornos de indústrias de cimento, utilizado para eliminar o conteúdo orgânico do mesmo, incorporando as cinzas ao cimento produzido), *landfarming* (processo utilizado para biodegradar o resíduo oleoso sobre o solo, em local previamente projetado para esse fim), biorremediação (processo utilizado para acelerar o processo natural de biodegradação do resíduo oleoso) e disposição em aterro industrial (operação que confina no solo o resíduo oleoso ou a cinza resultante da incineração, em aterro previamente projetado para receber resíduos industriais perigosos ou não inertes).

Os cimentos asfálticos de petróleo (CAP) são constituídos de 90 a 95% de hidrocarbonetos e 5 a 10% de heteroátomos (oxigênio, enxofre, nitrogênio e metais – vanádio, níquel e ferro) através de ligações covalentes. A composição química é bastante complexa, sendo dependente do cru e do processo de refino. O envelhecimento, como é denominado este fenômeno de comprometimento progressivo das propriedades físicas do CAP, é um processo de natureza complexa. É influenciado, basicamente, pelas características químicas do próprio cimento asfáltico, pela forma com que é manuseado e pelo nível de intemperização ao qual está submetido no pavimento. Ocorre durante a estocagem, a usinagem, o transporte, o manuseio, a aplicação e a vida de serviço do CAP, acarretando aumento da sua consistência (Cortizo *et al.*, 2004). Conhecer as características físico-químicas do CAP, antes da usinagem, não é suficiente para prever as alterações do seu comportamento físico, ao longo de sua vida de serviço. Para isto, é necessário realizar ensaios de caracterização química em cimentos asfálticos, submetidos a algum tipo de condicionamento, que simule o nível de agressividade ao qual estarão sujeitos. Com isso torna-se possível prever as alterações que os asfaltos sofrerão ao longo do tempo e, assim, selecionar o tipo adequado de material de forma mais racional (Faxina *et al.*, 2004).

Inserido neste contexto e enfatizando-se que o uso de resíduos gerados pela indústria petrolífera tem sido cientificamente pouco explorado no Brasil e no exterior, buscam-se novas aplicações para este material, onde o presente trabalho visa avaliar o uso da borra oleosa asfáltica pura como material componente das camadas de revestimento asfáltico para pavimentos de baixo volume de tráfego, tendo suas características comparadas à do CAP

convencional, através de misturas do tipo concreto asfáltico, possibilitando uma destinação mais nobre deste material, que seja economicamente viável e ambientalmente correta, adequando-se à realidade local e atendendo aos critérios e normas legais.

2. PROGRAMA EXPERIMENTAL

Para a verificação da aplicabilidade da borra asfáltica como ligante em um concreto asfáltico foi adotada uma metodologia constando das seguintes etapas: (i) seleção e caracterização de agregados locais, (ii) definição de curvas granulométricas, (iii) determinação da viscosidade dos materiais, utilizada para calcular as temperaturas de compactação e usinagem das misturas, (iv) confecção de misturas asfálticas em diferentes teores para determinação do teor ótimo, (v) caracterização mecânica destas misturas através dos ensaios de módulo de resiliência e resistência à tração estática. Ao final destas análises foi realizada uma avaliação da viabilidade técnica de uso da borra de asfalto em misturas asfálticas para revestimento do tipo concreto asfáltico.

2.1. Materiais

A seleção dos agregados foi feita de forma a enquadrar as misturas na Faixa C do DNER, sendo utilizada brita $\frac{3}{4}$ ", como agregado graúdo; areia de campo, como agregado miúdo; e pó de pedra como material passante na peneira N° 200, com densidades reais 2,659; 2,646 e 2,650, respectivamente. Todos os agregados são de origem granítica, provenientes da Pedreira de Itaitinga, localizada a aproximadamente 30 km da cidade de Fortaleza - Ceará. O resultado obtido no ensaio de Abrasão Los Angeles (DNER - ME 035/98) foi de 49%, valor este superior ao determinado pela norma DNER-ES 313/97. Em vista ao desempenho satisfatório de vias no estado (Silveira, 1999; Benevides, 2000) e comportamento mecânico de misturas produzidas no LMP/UFC (Loureiro, 2003; Pinheiro, 2004; Vasconcelos, 2004), exceção prevista na norma que permite a utilização, manteve-se a brita selecionada. Adotou-se como material de enchimento o pó de pedra passando na peneira N°200 e não o da areia de campo devido ao maior percentual de filer natural existente no primeiro. Para a realização dos ensaios, bem como para a moldagem dos corpos-de-prova, os materiais foram fracionados da peneira $\frac{3}{4}$ " à peneira N°200, passando por toda a série especificada pelo DNER, de forma a assegurar a menor variação possível das granulometrias originais.

Como ligante utilizou-se o CAP 50/70 fornecido pela Lubnor/Petrobras. Este é proveniente do petróleo nacional Fazenda Alegre e atendeu a todas as especificações da Agência Nacional do Petróleo (ANP, 2005), sendo os ensaios realizados na própria refinaria.

O resíduo utilizado, também conhecido como borra oleosa asfáltica pura, é proveniente do acúmulo de material retirado do fundo dos tanques de armazenamento de CAP, localizados na Lubnor/Petrobras e cedido pela mesma para o estudo em questão. Segundo a classificação convencional, é considerado um resíduo do tipo Classe I (perigoso), composto de emulsão oleosa líquida, pastosa ou sólida e isenta de sólidos (Magalhães, 2006). Análises de cunho ambiental não foram realizadas nesta fase de estudo inicial, sendo previstas em etapas futuras de pesquisa, para que se possa avaliar com maior precisão a periculosidade do resíduo estudado, bem como a capacidade de adsorção e potencial de lixiviação de compostos orgânicos.

2.2. Definição das Curvas Granulométricas

Para definição das curvas granulométricas escolheu-se a Faixa C (DNER-ME 313/97) como faixa de trabalho por esta ser a mais utilizada no Estado do Ceará. Não houve necessidade do uso de brita $\frac{3}{4}$ " para a montagem de curvas que se enquadram na Faixa C do DNER. As curvas e os respectivos enquadramentos na Faixa utilizada são apresentados na Figura 1.

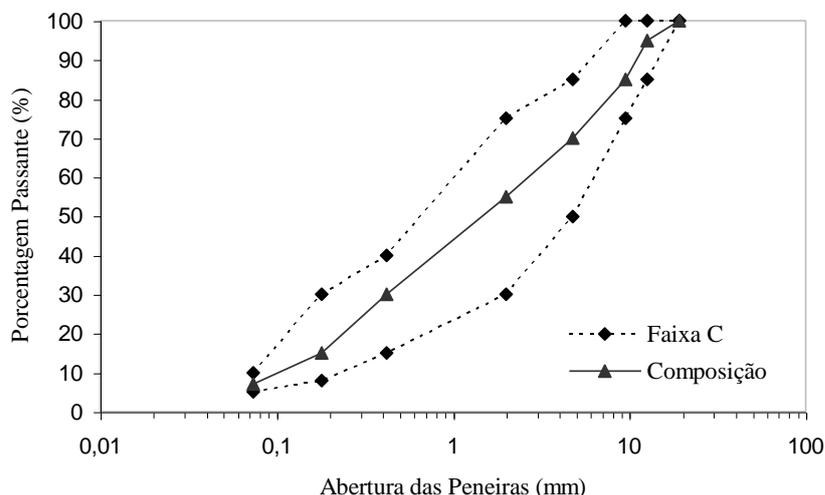


Figura 1: Distribuição granulométrica de agregado das misturas segundo especificações do DNER para Faixa C de concreto asfáltico. → considerando faixa velha, antes da revisão da norma 313/97, incluir algum comentário sobre isso?

3. ENSAIOS EXECUTADOS E ANÁLISES DOS RESULTADOS

Neste item são apresentados os resultados e suas discussões relativas à aplicação da metodologia proposta, para a análise da borra asfáltica como material de misturas asfálticas para revestimento do tipo CBUQ.

3.1. Viscosidade Brookfield e Temperaturas de Compactação e Usinagem

O líquido viscoso ideal, segundo a lei de Newton é aquele que quando submetido a uma tensão cisalhante escoar, sofrendo deformação irreversível a uma taxa de cisalhamento, através de uma relação linear e constante denominada de coeficiente de viscosidade ou simplesmente viscosidade. Os líquidos que obedecem a essa lei são denominados líquidos Newtonianos. Para tempos de carregamento muito longos e temperaturas elevadas, acima de 100°C , os CAPs apresentam comportamento de líquido viscoso Newtoniano. A viscosidade Brookfield dos cimentos asfálticos é determinada a partir do torque necessário para aplicar uma dada rotação a uma haste (*spindle*), com dimensões padronizadas, imersa em uma amostra de CAP na temperatura de ensaio desejada. Em geral, a viscosidade de um fluido depende do tamanho, da forma e da natureza química de suas moléculas. Em líquidos que tendem a associar-se, a viscosidade é anormalmente elevada.

Historicamente, valores de viscosidade têm sido usados para calcular temperaturas de mistura e compactação. A compactação Marshall utiliza viscosímetros capilares ou cinemática [conferir Daniel/Cícero \(???\)](#) para medições de viscosidades desde 1940. Neste sistema, o CAP deve ser aquecido para produzir uma viscosidade cinemática de 170 ± 20 centistokes e 280 ± 30 centistokes para temperatura de compactação e usinagem, respectivamente. Para o cálculo da

temperatura de compactação e usinagem, no mínimo dois pontos devem constar em um gráfico de viscosidade em função da temperatura com o comportamento linear. Usando limites de valores de viscosidades são encontrados os valores de temperatura de compactação e usinagem.

A viscosidade Brookfield e as temperaturas de compactação e usinagem foram determinadas conforme a ASTM D4402 (2002) e ASTM D2493 (2001), respectivamente, nas temperaturas: de 135, 150 e 175°C a diferentes taxas de cisalhamento.

A Tabela 1 apresenta os valores de viscosidade do CAP convencional e da borra asfáltica, onde se observa que o CAP apresentou uma maior viscosidade, pois se pode considerar que este é mais consistente. Esta diferença pode vir a interferir nas propriedades mecânicas da mistura asfáltica. Tanto o CAP quanto a borra asfáltica apresentaram comportamento Newtoniano em todas as temperaturas estudadas, sendo que o CAP apresenta viscosidades maiores (Figura 2). A viscosidade não apresentou alteração com a variação da taxa de cisalhamento, apenas com a temperatura, pois alguns fluidos diminuem sua viscosidade com o aumento da temperatura. Esta diminuição da viscosidade ocorre devido às ligações intermoleculares do fluido serem quebradas, pois as moléculas são submetidas a uma maior agitação com o aumento da temperatura.

Tabela 1: Resultados de viscosidade com variação da temperatura

Temperatura (°C)	Viscosidade (cP)	
	CAP convencional	Borra oleosa asfáltica pura
135	475	285
150	230	147,5
175	90	62,5

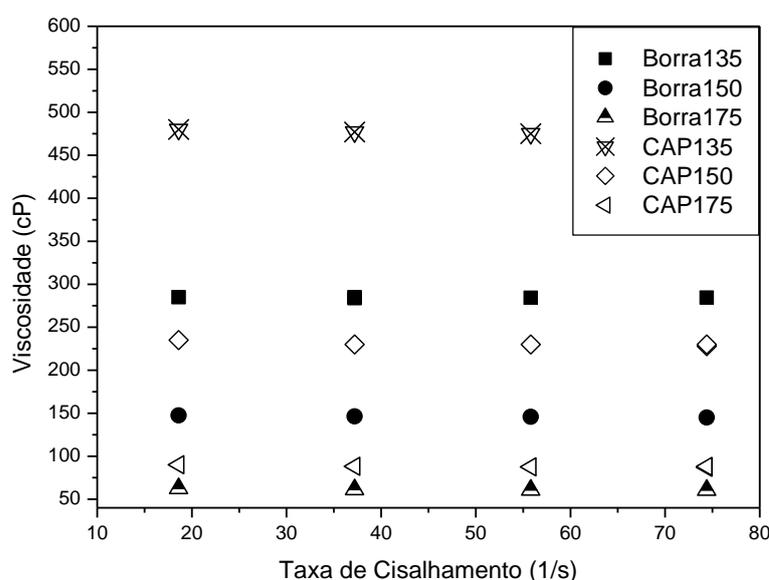


Figura 2: Comportamento viscoso do CAP convencional e da borra asfáltica para diferentes temperaturas

A Figura 3 apresenta os resultados obtidos para as temperaturas de compactação e usinagem

dos materiais estudados, onde se observa que para a borra asfáltica os valores de temperatura de compactação e usinagem são menores quando comparados ao CAP convencional. Não foram realizadas análises de envelhecimento da borra asfáltica, porém, como se trata de um resíduo onde se pode considerar um envelhecimento prévio acentuado, a possibilidade de envelhecimento deste material pode ser menor quando comparada ao CAP convencional, acarretando uma menor perda de suas frações voláteis (maltenos) e um menor risco exposto aos operadores.

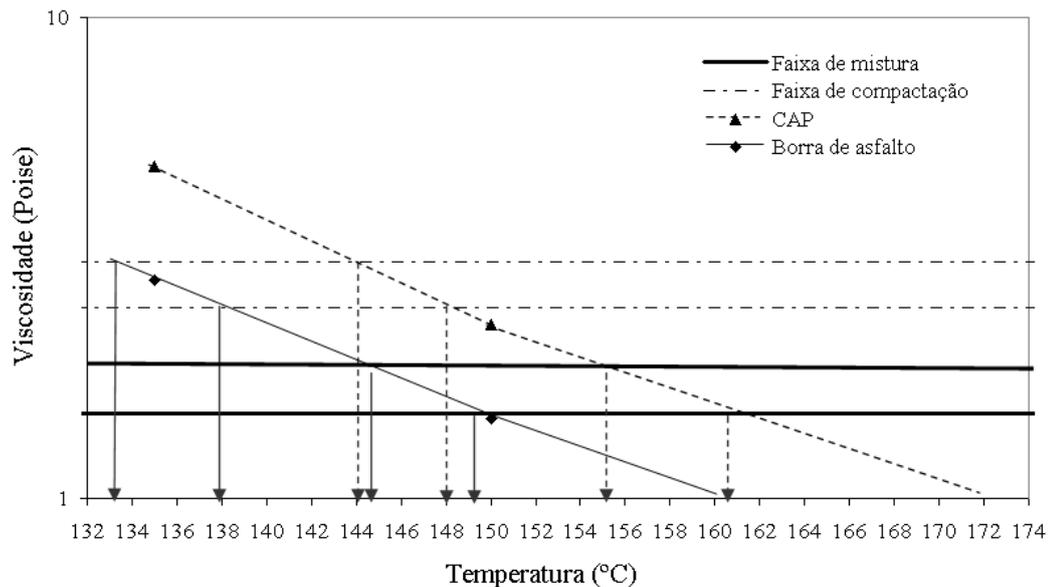


Figura 3: Temperaturas de compactação e usinagem obtidas para a borra de asfalto e o CAP convencional.

3.2. Dosagem Marshall e Confeção das Misturas

A determinação do teor ótimo (teor de projeto) de CAP em misturas asfálticas é convencionalmente realizada no Brasil por meio do método de dosagem Marshall. O procedimento utilizado seguiu a norma NBR 12891/93 da ABNT. Neste método, são moldados cinco grupos de três corpos-de-prova com diferentes teores de ligante. A experiência do projetista pode sugerir um teor de CAP para o primeiro grupo de três corpos-de-prova com base na faixa granulométrica considerada. Os outros quatro teores são determinados com incrementos de $\pm 0,5\%$ e $\pm 1,0\%$ a partir do primeiro teor. Antes da confecção dos corpos-de-prova das misturas asfálticas, foram definidas as densidades máximas teóricas (DMT). O procedimento utilizado foi o chamado método “Rice” (ASTM D 2041 – 2000) no qual a DMT é determinada experimentalmente por meio da saturação de seus vazios inter e intra-granulares com água (Vasconcelos & Soares, 2003).

Após a determinação da DMT, foram confeccionados os corpos-de-prova. Estes foram utilizados na determinação dos parâmetros volumétricos conforme a NBR 12891/93 e posteriormente na caracterização das propriedades mecânicas das misturas asfálticas. Os parâmetros volumétricos determinados foram vazios do agregado mineral (VAM), volume de vazios (Vv), relação betume-vazios (RBV) e densidade aparente. A Tabela 2 apresenta os

valores dos parâmetros citados e o teor de ligante para as misturas realizadas com CAP convencional e com borra asfáltica como ligante.

Tabela 2: Resultados dos ensaios Marshall

Mistura	CAP convencional	Borra oleosa asfáltica pura
Teor ótimo de ligante (%)	6,30	6,75
Vazios do agregado mineral (%)	18,75	18,98
Volume de vazios (%)	4,77	3,97
Relação betume-vazios (%)	74,54	79,09
Densidade aparente	2,28	2,28

Observa-se que, para os distintos teores ótimos definidos no projeto das misturas, o volume de vazios referente à mistura realizada com borra asfáltica é inferior ao volume de vazios obtido para a mistura de CAP convencional, o que atribui ao primeiro material potencial uso em camadas de revestimentos asfálticos, conferindo uma menor permeabilidade e, conseqüentemente, maior durabilidade do revestimento.

Vale ressaltar que tais misturas satisfazem as recomendações da norma DNER-ES 313/97 para concreto asfáltico, a ser utilizado como camada de rolamento, relativas aos intervalos desejados de volume de vazios (3 a 5%), porém não satisfazem plenamente as recomendações para a relação betume-vazios (75 a 82%), o que não condena o uso das mesmas para serem empregadas como revestimento, base, regularização ou reforço do pavimento (Aldigueri *et al.*, 2000).

3.3. Propriedades Mecânicas das Misturas

O ensaio de resistência à tração por compressão diametral (RT) é um ensaio de ruptura, onde o corpo-de-prova é posicionado horizontalmente e a carga é aplicada diametralmente a uma velocidade de $0,8 \pm 0,1$ mm/s. Os ensaios foram conduzidos a 25°C e realizados segundo a norma DNER-ME 138/94.

Na análise tensão-deformação das estruturas dos pavimentos, o parâmetro de deformabilidade normalmente empregado para caracterizar as misturas asfálticas é o módulo de resiliência (M_R) (Motta, 1995). O ensaio para determinação deste parâmetro vem sendo realizado no Brasil em equipamentos pneumáticos com controle do tempo e frequência de aplicação da carga, sistema de aplicação da carga, sistema de medição do deslocamento diametral horizontal do corpo-de-prova quando submetido à carga e sistema de controle de temperatura. Os ensaios da presente pesquisa foram realizados segundo a norma DNER-ME 133/94. O M_R foi determinado em corpos-de-prova moldados em laboratório (diâmetro de $10 \pm 0,02$ cm e altura de $6,35 \pm 0,20$ cm) a 25°C, e o resultado foi obtido por meio da leitura da deformação instantânea. Os resultados obtidos para os ensaios descritos acima são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Resultados dos ensaios de módulo de resiliência e resistência à tração estática

Mistura	Resistência à tração (MPa)	Módulo de Resiliência (MPa)	Relação M_R/RT
CAP convencional	0,76	2142	2818
Borra oleosa asfáltica pura	0,59	1893	3208

Os resultados de resistência à tração encontrados mostraram-se baixos quando comparados

com resultados de concretos asfálticos convencionais (Loureiro, 2003; Pinheiro, 2004), onde houve uma redução em torno de 20% de resistência à tração para a mistura com borra asfáltica. Os valores de módulo de resiliência encontrados mostraram-se satisfatórios, uma vez que se apresentam em torno de 2000 MPa, sendo, portanto, próximo aos valores de uma mistura convencional (Soares *et al.*, 2000), porém os resultados de módulo se mostraram inferiores para a mistura com borra asfáltica, da ordem de aproximadamente 12%, quando comparada ao CAP convencional. Estas diferenças estão relacionadas à menor viscosidade da borra asfáltica e ao maior teor ótimo de ligante utilizado nas misturas para este material, ou seja, quanto mais elevado o teor de ligante, menores os valores obtidos de parâmetros mecânicos.

A relação M_R/RT vem sendo usada no país como um indicativo da vida de fadiga de uma mistura, afinal representa uma combinação de flexibilidade e resistência. A mistura realizada com borra asfáltica apresentou menor valor na relação M_R/RT em comparação com as misturas executadas com CAP convencional, no entanto ambas as misturas apresentaram a relação M_R/RT próxima de 3000, valor comumente encontrado em misturas betuminosas no Ceará (Soares *et al.*, 1998, 1999).

A continuação desta pesquisa, com a realização de outros ensaios mecânicos, é necessária para que os parâmetros possam ser verificados de forma a se tentar obter resultados mais esclarecedores, bem como a execução de ensaios de avaliação ambiental da borra asfáltica utilizada, para que se possa avaliar com maior precisão a periculosidade deste resíduo, bem como a capacidade de adsorção e potencial de lixiviação de compostos orgânicos.

Podem-se vislumbrar melhores resultados mecânicos em misturas compostas por borra asfáltica quando esta for misturada ao CAP convencional, em determinados teores para diferentes misturas, a serem estudadas em pesquisas futuras.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As seguintes observações e conclusões podem ser citadas com relação ao comportamento obtido nos ensaios realizados em misturas asfálticas executadas com CAP convencional e borra oleosa asfáltica pura:

- A borra asfáltica apresenta uma viscosidade menor quando comparada ao CAP convencional;
- Tanto o CAP convencional quanto a borra asfáltica apresentaram comportamento Newtoniano em todas as temperaturas estudadas, entretanto a viscosidade não apresentou alteração com a variação da taxa de cisalhamento, apenas com as temperaturas, que se apresentaram inferiores para a borra asfáltica estudada;
- Para os distintos teores ótimos definidos no projeto das misturas, o volume de vazios referente à mistura realizada com borra asfáltica é inferior ao volume de vazios obtido para a mistura de CAP convencional, o que atribui ao primeiro material potencial uso em camadas de revestimentos asfálticos, conferindo uma menor permeabilidade e, conseqüentemente, maior durabilidade do revestimento.
- Resultados referentes ao comportamento mecânico da borra asfáltica se apresentaram inferiores (20% para resistência à tração e 12% para módulo de resiliência), quando comparados ao CAP convencional, devido provavelmente à menor viscosidade da

borra asfáltica e ao maior teor ótimo de ligante utilizado nas misturas para este material;

- A utilização da borra oleosa asfáltica pura não é adequada para vias de alto volume de tráfego, no entanto, as misturas apresentaram valores compatíveis para serem empregadas como revestimentos de baixo custo, bem como em regularizações e reforço de pavimentos, se mostrando uma alternativa viável para vias de baixo volume de tráfego.

Agradecimentos

Os autores querem expressar seus agradecimentos ao CNPq e à CAPES (Programa de Apoio a Projetos Institucionais com a Participação de Recém-Doutores – PRODOC), pelo apoio financeiro destinado a este grupo de pesquisa, bem como à Lubnor/Petrobras pelo fornecimento do CAP e disponibilização da borra asfáltica para o estudo realizado e à equipe laboratorial do Laboratório de Mecânica dos Pavimentos do DET/UFC.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT (1993) NBR 12891 – Dosagem de Misturas Betuminosas pelo Método Marshall. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, Brasil.
- Aldigueri, D. R.; Bernucci, L. B.; Moura, E. (2000) O Estudo do Comportamento de Misturas de Areia Asfalto Usinadas a Quente Quanto à Deformação Permanente. 32ª Reunião Anual de Pavimentação da ABPv, Brasília, DF.
- ANP (2005) Resolução ANP Nº 19, de 11.7.2005 DOU 12.7.2005. Regulamento técnico Nº 3/2005. Agência Nacional do Petróleo.
- ASTM D2493 (2001) Standard Viscosity-Temperature Chart for Asphalts. American Society for Testing and Materials.
- ASTM D2872 (2004) Standard Test Method for Effect of Heat and Air on a Moving Film of Asphalt (Rolling Thin-Film Oven Test). American Society for Testing and Materials.
- ASTM D4402 (2002) Standard Test Method for Viscosity Determinations of Unfilled Asphalts Using the Brookfield Thermosel Apparatus. American Society for Testing and Materials.
- ASTM (2000) Standard Test Method for Theoretical Maximum Specific Gravity and Density of Bituminous Paving Mixture. D 2041.
- Benevides, S.A.S. (2000) Análise Comparativa dos Métodos de Dimensionamento dos Pavimentos Asfálticos: Empírico do DNER e da Resiliência da COPPE/UFRJ em Rodovias do Estado do Ceará Tese de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ.
- Cortizo, M. S.; Larsen, D. O.; Bianchetto, H.; Alessandrini, J. L. (2004) Effect of the thermal degradation of SBS copolymers during the ageing of modified asphalts, *Polymer Degradation and Stability*, p. 275-272.
- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (1994) Métodos de Ensaio - Determinação do Módulo de Resiliência de Misturas Betuminosas. DNER-ME 133/94. Ministério dos Transportes, Brasil.
- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (1994) Métodos de Ensaio – Misturas Betuminosas – determinação da resistência à tração por compressão diametral. DNER-ME 138/94. Ministério dos Transportes, Brasil.
- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (1997) Pavimentação – Concreto Betuminoso. DNER-ES 313/97. Ministério dos Transportes, Brasil.
- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (1998) Agregados – determinação da abrasão “Los Angeles”. DNER-ME 35 317/97. Ministério dos Transportes, Brasil.
- Faxina, A. L.; Sória, M. H. A.; Leite, L. F. M.; Tahara, C. S. (2004) Efeito do Envelhecimento a curto prazo em asfaltos modificados com Borracha de Pneu e Óleo de Xisto, *Anais do 28º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, ANPET*, Florianópolis, Brasil, p. 53-64.
- Loureiro, T.G. (2003) Estudo da Evolução do Dano por Fadiga em Misturas Asfálticas. Dissertação de Mestrado. PETRAN, UFC, CE.

- Magalhães, S. C. (2006) Plano de gerenciamento de resíduos sólidos para a indústria de petróleo: o caso de Petrobras/Lubnor-CE. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal do Ceará.
- Motta, L. M. G. (1995) Curva de Resiliência e fadiga de Misturas Asfálticas. Instituto Brasileiro de Petróleo, São Paulo, SP, Brasil.
- Pinheiro, J.H.M. (2004) Incorporação de Borracha Moída de Pneu em Misturas Asfálticas de Diferentes Granulometrias (Processos Úmido e Seco). Dissertação de Mestrado. PETRAN, UFC, CE.
- Silveira, M.A. (1999) Estudo de Adição de Polímero em Areia-Asfalto a Frio. Dissertação de Mestrado. EESC, USP, SP.
- Soares, J.B.; Motta, L.M.G.; Nóbrega, L.M.; Leite, L.M.; Paiva, J.A.A.; Nobre, E.F. (1998) Estudos Comparativo de Cimentos Asfálticos de Petróleo na Pista Experimental do Ceará. XII CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES, ANPET, Fortaleza-Ce.
- Soares, J.B.; Leite, L. M.; Motta, L. M. G. e Branco, J. V. C. (1999) O efeito da consistência do CAP no teor ótimo e nas propriedades das misturas asfálticas. XIII CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES, ANPET, São Carlos-SP.
- Soares, J.B.; L.M. Motta; J.A. Paiva e J.V.C. Branco (2000) Propriedades Mecânicas de Misturas Asfálticas com Variação de Granulometria e de CAP. 15^o. Encontro de Asfalto, IBP
- Vasconcelos, K. L.; Soares, J. B. (2003) Influência dos métodos de ensaio para determinação das densidades real e aparente de agregados na dosagem de misturas asfálticas. 34^a Reunião Anual de Pavimentação, ABPv, Campinas.
- Vasconcelos, K. L. (2004) Comportamento Mecânico de Misturas Asfálticas a Quente Dosadas pelas Metodologias Marshall e Superpave com Diferentes Granulometrias. Dissertação de M.Sc., PETRAN/UFC, Fortaleza, CE.
-