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

Michéle Dal Toé Casagrande

D.Sc. - Pesquisadora, E-mail: michedtc@det.ufc.br

Daniela Cadore Vale

Bolsista IniciaçãoCientífica, E-mail: danielacadore@det.ufc.br

Silvrano Adonias Neto

D.Sc. – Pesquisador e Professor Adjunto, E-mail: silvrano@ufc.br

Jorge Barbosa Soares

Ph.D. – Pesquisador e Professor Associado, E-mail: jsoares@det.ufc.br

Laboratório de Mecânica dos Pavimentos

Departamento de Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará

Campus do Pici, Bloco 703 – Fortaleza/CE, Brasil – Fone/Fax: +55 85 33669488 (r.240)

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 ligante convencionalmente utilizado, através de misturas do tipo concreto asfáltico usinado a quente. Foram analisados parâmetros volumétricos das misturas, bem como o comportamento mecânico destas, 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.

Palavras-Chave: Borra asfáltica, baixo custo, baixo volume de tráfego

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. Volumetric parameters 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.

Keywords: asphalt binder oil residue, low cost pavements, low traffic roads

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, capital do estado do Ceará, na região nordeste do Brasil, onde uma média de 56 toneladas de borra de tanque é gerada por ano (dado referente ao ano de 2004), porém este valor é variável de tempo em tempo e depende também da capacidade de produção e geração de borra nas refinarias de uma forma geral. A refinaria em questão processava inicialmente 450 m³/dia de petróleo (1966) e hoje possui uma produção de 1.100 m³/dia, após sofrer várias ampliações e instalação de novas unidades. Responde por até 13% da produção de asfalto do país em função da sua alta produtividade e atende 100% da demanda do Ceará e dos estados circunvizinhos e parte da demanda da região Norte (**Figura 1**). No cenário local, a Lubnor/Petrobras também é a única empresa que produz asfalto no Ceará, item que responde por 62% do volume total de processamento pela Unidade. É uma das empresas que lideram o ranking nacional em produção de asfalto. Além do processamento de petróleo, a empresa produz 235 mil toneladas por ano de asfalto e 170 metros cúbicos de lubrificantes diários (Fonte: Diário do Nordeste, publicado em 28/06/2006, Fortaleza/CE).

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). O método empregado atualmente pela Lubnor para o tratamento da borra utilizada nesta pesquisa é o co-processamento, em uma indústria cimenteira localizada a 233 km de Fortaleza, o que resulta em um custo de aproximadamente R\$600,00 para a refinaria, por tonelada de resíduo gerado.



(Fonte: Petrobras)

Figura 1: Posicionamento geográfico das refinarias da Petrobras no Brasil

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 ligante convencionalmente utilizado no estado (cimento asfalto petróleo – CAP 50/70), através de misturas do tipo concreto asfáltico usinado a quente, 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) determinação da viscosidade e temperaturas de compactação e usinagem dos ligantes; (iii) definição de curvas granulométricas, (iv) confecção e dosagem de misturas asfálticas utilizando os ligantes (CAP 50/70 e borra asfáltica) puros e misturados, (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 antiga do DNER, sendo utilizada brita $\frac{3}{4}$ ", como agregado graúdo e pó de pedra como material passante na peneira N° 200, com densidades reais 2,651 e 2,655, 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 fíler 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). Ensaios de penetração do ligante (DNER 003/99) indicaram que esta é cerca de 35% maior para a borra asfáltica quando comparada ao CAP 50/70.

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 antiga (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 2.

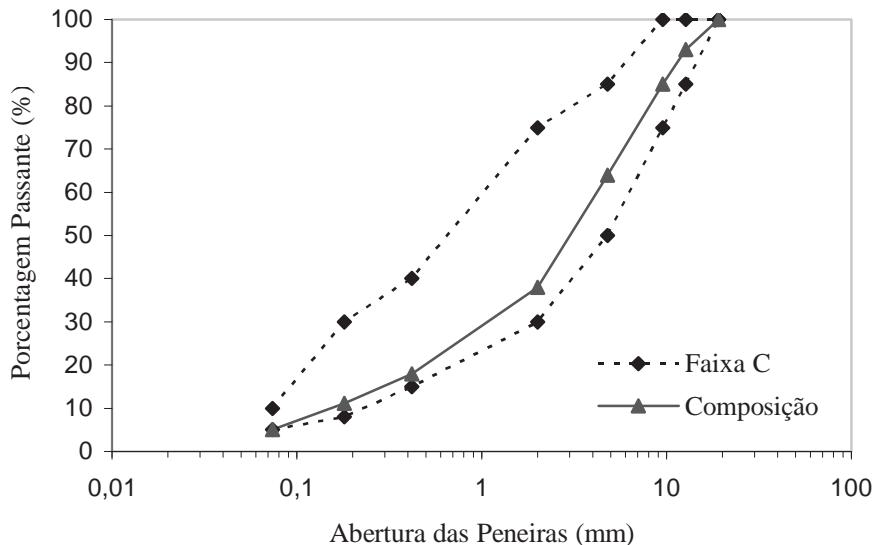


Figura 2: Distribuição granulométrica de agregado das misturas segundo especificações do DNER (Faixa C antiga de concreto asfáltico)

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

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. O CAP 50/70 apresentou uma maior viscosidade quando comparado com a borra asfáltica (cerca de 30 a 40% superior, sendo que esta variação diminui com o aumento da temperatura), pois se pode considerar que este é mais consistente. 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.

Com relação aos resultados obtidos para as temperaturas de compactação e usinagem dos materiais estudados, para a borra asfáltica os valores de temperatura de compactação e usinagem

foram menores, quando comparados ao ligante convencional (aproximadamente 10°C). 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 ligante convencional, acarretando uma menor perda de suas frações voláteis e um menor risco exposto aos operadores.

É importante ressaltar que os valores de viscosidade e temperaturas de compactação e usinagem não se apresentaram significativamente alterados quando misturados o ligante convencional e a borra asfáltica, sendo utilizados então valores de temperatura correspondentes ao ligante de maior porcentagem na mistura.

3.2. Dosagem Marshall e Confecção 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, que foram também 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. O teor ótimo de ligante foi determinado a partir das especificações para Vv e RBV (Soares *et al.*, 2000). A Tabela 1 apresenta os valores dos parâmetros citados e o teor de ligante para as misturas realizadas com 100% de ligante convencional (CAP 50/70), 100% de borra asfáltica e com misturas de CAP 50/70 e borra asfáltica como ligante, onde são apresentados resultados dos parâmetros obtidos para misturas com 40% de CAP + 60% de borra e 60% de CAP + 40% de borra.

Observa-se que todas as amostras apresentam dados volumétricos que satisfazem as recomendações da norma DNER-ES 313/97, relativas aos intervalos desejados de volume de vazios (3 a 5%) e para a relação betume-vazios (75 a 82%). Além disso, o teor de projeto observado é um pouco acima do usual para misturas convencionais, o que não condena o potencial uso das misturas estudadas para serem empregadas em camadas de revestimentos asfálticos, base, regularização ou reforço do pavimento (Aldigueri *et al.*, 2000).

Tabela 1: Resultados dos ensaios Marshall

Mistura	100% CAP 50/70	100% borra	40% CAP 50/70 + 60% borra	60% CAP 50/70 + 40% borra
---------	-------------------	---------------	------------------------------	------------------------------

Teor ótimo de ligante (%)	6,9	6,8	6,9	7,0
Vazios do agregado mineral (%)	19,5	19,1	19,6	19,7
Volume de vazios (%)	4,1	3,8	4,0	4,1
Relação betume-vazios (%)	79,1	79,9	79,4	79,3
Densidade aparente	2,29	2,30	2,29	2,29

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 freqüência 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 2**.

Tabela 2: Resultados dos ensaios de módulo de resiliência e resistência à tração estática

Mistura	Resistência à tração (MPa)	Módulo de Resiliência (MPa)	M_R/RT
100% CAP 50/70	0,85	3073	3615
100% borra	0,65	2232	3434
40% CAP + 60% borra	0,78	2520	3231
60% CAP + 40% borra	0,84	2729	3249

Os resultados de resistência à tração encontrados para as amostras confeccionadas com 100% de borra asfáltica mostraram-se baixos quando comparados com resultados de concretos asfálticos convencionais (Loureiro, 2003; Pinheiro, 2004), onde houve uma redução em torno de 22% de resistência à tração. O valor de módulo de resiliência encontrado para a borra asfáltica mostra-se satisfatório, uma vez que se apresenta em torno de 2000 MPa, sendo, portanto, próximo aos valores de uma mistura convencional (Soares *et al.*, 2000), porém, estes resultados se mostraram inferiores para a mistura com borra asfáltica, da ordem de aproximadamente 27%, quando comparada ao CAP convencional. Estas diferenças podem estar relacionadas à menor viscosidade e maior penetração da borra asfáltica quando comparada ao ligante convencional.

A partir destes resultados foram executadas misturas com o ligante convencional e borra asfáltica, em diferentes porcentagens. Pode-se observar que a resistência à tração da mistura com borra aumenta à medida que se insere CAP nesta, ou seja, 40% de CAP misturado a 60% de borra apresenta uma resistência à tração 7% inferior quando comparada ao ligante convencional puro, e

passa a ter a mesma magnitude quando se mistura 40% de borra com 60% de CAP. Com relação ao módulo de resiliência percebe-se que os 27% de diferença para a amostra com 100% de borra diminui em 18% para a mistura com 60% de borra e cai para 11% no caso da mistura com 40% de borra, comparando-se aos valores das amostras executadas com 100% de CAP 50/70.

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 e observa-se que 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 química e ambiental da borra asfáltica utilizada, para que se possa avaliar com maior precisão a periculosidade deste resíduo, como por exemplo a capacidade de adsorção e potencial de lixiviação de compostos orgânicos.

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 maior penetração e menor viscosidade quando comparada ao CAP convencional, 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;
- Resultados referentes ao comportamento mecânico da borra asfáltica se apresentaram inferiores quando comparados ao ligante convencional em misturas puras, porém, à medida que se acrescenta certa porcentagem de borra ao ligante, o comportamento mecânico tende a melhorar e as diferenças nos valores de resistência à tração atingem uma mesma magnitude para a mistura realizada com 40% de borra, apresentando um módulo de resiliência 11% inferior, quando comparada à amostra com 100% de ligante convencional;
- A utilização da borra oleosa asfáltica pura não pode ser considerada adequada para vias de alto volume de tráfego, no entanto, as misturas estudadas 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, possibilitando uma destinação mais nobre deste material, tanto no ponto de vista ambiental quanto sócio-econômico.

AGRADECIMENTOS

Os autores querem expressar seus agradecimentos ao CNPq (Programa de Iniciação Científica) e a 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 da Universidade Federal do Ceará.

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., L.B. Bernucci e E. Moura (2000) O Estudo do Comportamento de Misturas de Areia Asfalto Usinadas a Quente Quanto à Deformação Permanente. **32ª Reunião Anual de Pavimentação - 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 (2001) **D 2493 - Standard Viscosity-Temperature Chart for Asphalts.** American Society for Testing and Materials. American Society for Testing and Materials.
- ASTM (2004) **D 2872 - 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 (2002) **D 4402 - Standard Test Method for Viscosity Determinations of Unfilled Asphalts Using the Brookfield Thermosel Apparatus.** American Society for Testing and Materials.
- ASTM (2000) **D 2041 - Standard Test Method for Theoretical Maximum Specific Gravity and Density of Bituminous Paving Mixture.** American Society for Testing and Materials.
- 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.
- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (1994) **Métodos de Ensaios - 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 Ensaios – 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 (1997) **Agregados – Determinação da**

abrasão “Los Angeles”. DNER-ME 35 317/97. Ministério dos Transportes, Brasil.

Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (1999) **Material Betuminoso – Determinação da Penetração.** DNER ME-003/99. Ministério dos Transportes, Brasil.

Loureiro, T.G. (2003) **Estudo da Evolução do Dano por Fadiga em Misturas Asfálticas.** Dissertação de Mestrado. PETRAN/UFC, Fortaleza, CE.

Magalhães, S. C. (2006) **Plano de gerenciamento de resíduos sólidos para a indústria de petróleo: o caso de Petrobras/Lubnor-CE.** Dissertação de Mestrado (Engenharia de Produção). UFC, Fortaleza, CE.

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, Fortaleza, CE.

Silveira, M.A. (1999) **Estudo de Adição de Polímero em Areia-Asfalto a Frio.** Dissertação de Mestrado. EESC/USP, São Carlos, SP.

Soares, J.B., L.M.G. Motta, L.M. Nóbrega, L.M. Leite, J.A.A. Paiva e E.F. Nobre (1998) Estudos Comparativo de Cimentos Asfálticos de Petróleo na Pista Experimental do Ceará. **XII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes,** Fortaleza, CE.

Soares, J.B., L.M. Leite, L.M.G. Motta, e J.V.C. Branco (1999) O efeito da consistência do CAP no teor ótimo e nas propriedades das misturas asfálticas. **XIII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes,** 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. **15º Encontro de Asfalto - IBP.**

Vasconcelos, K. L. e J.B. Soares (2003) Influência dos métodos de ensaio para determinação das densidades real e aparente de agregados na dosagem de misturas asfálticas. **34ª Reunião Anual de Pavimentação - ABPv,** Campinas, SP.

Vasconcelos, K. L. (2004) **Comportamento Mecânico de Misturas Asfálticas a Quente Dosadas pelas Metodologias Marshall e Superpave com Diferentes Granulometrias.** Dissertação de Mestrado. PETRAN/UFC, Fortaleza, CE.