

COMPARAÇÃO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DE MISTURAS ASFÁLTICAS A FRIO COMPACTADAS POR IMPACTO E POR AMASSAMENTO

Heberton Souto Moreira
Daniel Rodrigues do Nascimento
Jorge Barbosa Soares

Laboratório de Mecânica dos Pavimentos
Departamento de Engenharia de Transportes
Universidade Federal do Ceará

RESUMO

A utilização de emulsões asfálticas iniciou-se no Brasil no final da década de 60 e, ainda hoje, é amplamente utilizada pelo corpo técnico. Porém a comunidade científica dispõe de escassa bibliografia nacional sobre o assunto. Nesta pesquisa utiliza-se uma adaptação do Método Marshall e uma adaptação do Método Superpave para misturas a frio. A escolha do teor de projeto se deu por parâmetros mecânicos e não pelos parâmetros volumétricos comumente utilizados em ambas as metodologias. Depois de analisadas as características da emulsão RL-1C utilizada, foram realizados ensaios mecânicos, tais como Resistência a Tração, Módulo de Resiliência e Resistência ao Desgaste em misturas compactadas no processo por impacto e por amassamento. Os resultados obtidos permitem um melhor entendimento das misturas a frio comumente realizadas no Brasil.

ABSTRACT

The pavement use of asphalt emulsions started in Brazil in the late 60's. This technology is widely used to this date. However, there is very little national literature on the subject. The present study uses adaptations of the Marshall and the Superpave mixture design procedures for cold mixtures. The binder content was selected based on mechanical parameters and not on volumetric parameters typically used in both design procedures. The RL-1C emulsion was analyzed and then mechanical tests were performed on the cold mixtures: indirect tensile strength, resilient modulus, and cohesion based on the Cantabro test. Two compaction methods were investigated: impact and gyratory. The results provide a better understanding of the cold mixtures typically used in Brazil.

1. INTRODUÇÃO

Diversas variáveis podem ser listadas para o desenvolvimento das mais diversas tecnologias, contudo crises econômicas estão no topo da lista. Com a Engenharia Rodoviária não poderia ser diferente, e durante a Crise do Petróleo de 1974 houve uma busca por soluções economicamente viáveis, ou seja, utilizando adequadamente o produto bruto em questão. As emulsões asfálticas surgem como redução no consumo de energia, pois não necessita de calor para utilização, e reduzindo perdas das frações mais leves, já que não há emissão de hidrocarbonetos (SULLIVAN, 1996). As vantagens do uso de misturas asfálticas a frio não se resumem ao caráter econômico, porém este com certeza é um dos fatores preponderantes nas escolhas dos tomadores de decisões nacionais.

Misturas asfálticas a frio são creditadas erroneamente pelo meio técnico como ineficazes e de ruim desempenho (SANTANA, 1995). A literatura científica nacional e internacional menos abundante, quando comparado a misturas asfálticas a quente, contesta comportamentos mecânicos adequados à exigência do tráfego submetido (CLERMAN, 2004). Apesar de larga utilização no meio técnico nacional as misturas a frio foram alvos de poucos estudos científicos (SILVEIRA, 1999).

O Brasil, por não adotar a metodologia Superpave, dispõe de poucos compactadores *Superpave Gyratory Compactor* (SGC). VASCONCELOS (2004) e PINHEIRO (2004) desenvolveram trabalhos utilizando a compactação por amassamento, porém em misturas a quente. Em verdade, a metodologia Superpave não preconiza misturas a frio, portanto, apenas o aspecto da compactação diferenciada será o foco deste trabalho.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Emulsão Asfáltica

O termo emulsão é definido como sendo uma dispersão de dois ou mais líquidos que interagindo formam um sistema heterogêneo. As emulsões asfálticas são misturas de água e CAP. A obtenção desta dispersão só é possível com a incorporação de um agente tensoativo, o emulsificante (IBP, 1999). A emulsificação é feita utilizando-se um aparelho denominado moinho coloidal. Este é responsável pela quebra das moléculas de CAP, produzindo minúsculos glóbulos com tamanho da ordem de 5µm, ou menos, que são dispersos em água e emulsificante (AI, 1989).

Define-se como ruptura da emulsão a quebra da estabilidade da mistura, isto é, a separação entre as fases constituintes (ABEDA, 2001). A ruptura pode ocorrer por evaporação d'água, por um desequilíbrio elétrico (provocado por aumento da acidez ou alcalinidade) ou pela ação do agregado, o qual atrai para si, por meio de forças eletrostáticas, os glóbulos do asfalto. Uma característica visual da ruptura é a mudança de coloração da emulsão, que passa de marrom a preta.

Segundo ABEDA (2001), o tipo de agente emulsificante utilizado, a quantidade de CAP e o processo de fabricação, são os principais fatores para a classificação das emulsões. Existem ainda emulsões modificadas com polímeros e emulsões para reciclagem a frio. De acordo com o seu caráter iônico, os emulsificantes podem ser classificados em aniônicos, catiônicos e não-iónicos. No Brasil, os agregados são, em sua maioria, de natureza eletronegativa. Dessa forma, as emulsões do tipo catiônicas conferem maior adesividade à mistura devido à interação entre as partículas dos dois constituintes. Além disso, estudos comprovaram que as emulsões asfálticas catiônicas também possuíam um bom poder ligante se misturadas a agregados eletropositivos (SANTANA, 1993). A baixa viscosidade e trabalhabilidade à temperatura ambiente, aliada a sua adesividade com agregados, são fatores que contribuem para o avanço em estudos de misturas betuminosas a frio (CLERMAN, 2004).

2.2. Pré Misturado a Frio

Define-se Pré-misturado a Frio (PMF) a mistura de agregados minerais e emulsão asfáltica. O uso de misturas a frio iniciou-se na Inglaterra numa técnica denominada *Retread process* e bastante utilizada após a II Guerra Mundial pela França para restauração de seus pavimentos. No Brasil, esta técnica de mistura passou a ser utilizada em 1966, enquanto que só em 1980 as emulsões asfálticas foram utilizadas com sucesso na técnica de PMF denso em revestimentos asfálticos delgados (IBP, 1990). Desde então, esta técnica começou a perder espaço para os revestimentos produzidos por processos à quente como o concreto betuminoso usinado à quente (CBUQ) e areia asfalto usinada à quente (AAUQ) (ABEDA, 2001).

SANTANA (1993) destaca que as vantagens do uso de PMFs são muitas dentre elas: a utilização à temperatura ambiente, evitando o consumo de combustíveis, a alta trabalhabilidade devido ao estado fluido do ligante a temperatura ambiente, não agride o meio ambiente além de evitar o endurecimento prematuro do asfalto por oxidação que geralmente é constatado nas usinas em misturas a quente. Os PMFs possuem algumas particularidades que os diferem das misturas a quente, a começar pelo ligante, a emulsão asfáltica, que possui em sua composição água que lhe confere o estado fluido a temperatura ambiente. Esta característica da emulsão muitas vezes dificulta as etapas de mistura e compactação da mistura (PRADO e SÓRIA, 2003).

2.3. Compactação por Impacto e por Amassamento

A dosagem de misturas asfálticas pela metodologia Marshall durante vários anos vem sendo utilizada no Brasil. Apesar de sofrer algumas críticas e proposições de mudanças durante anos seguidos. Um dos principais focos de discussão é a compactação por impacto, que se acredita não se aproximar da realidade do campo. No final dos anos 80, houve a iniciativa da criação de uma nova metodologia para dosagem de misturas asfálticas. Através do órgão gestor FHWA (*Federal Highway Administration*), reuniram-se os principais pesquisadores e com 5 anos de pesquisa criaram o que viria a ser conhecido como Superpave (*Superior Performance Asphalt Pavement*). Uma das inovações, entre outras, encontra-se a adoção de um compactador por amassamento, o SGC (ROBERTS *et al.*, 1996).

ALDIGUERI *et al.* (2001) afirmam que a simples modificação de uma compactação por impacto manual, a mais comumente utilizada no Brasil, por uma automática pode apresentar variação de teor ótimo de ligante em 0,6%. Entre as principais críticas do método de compactação por impacto, como citado anteriormente, é a pouca representatividade em relação ao campo, porém se adicionam também as variações obtidas na preparação dos corpos de provas (MOTTA, 1998). A variação da energia de compactação influencia nos parâmetros mecânicos diretamente e houve uma diferença de 4 pontos percentuais de volume de vazios (ALBUQUERQUE *et al.*, 2004).

Um dos princípios fundamentais para a dosagem a partir de parâmetros volumétricos é a energia de compactação. A escolha deve se aproximar tanto quanto possível do volume de vazios obtidos em campo. A adaptação da compactação por amassamento para misturas a frio é aconselhada por vários trabalhos à utilização de 50 giros para equivalência de energia (CROSS, 1999; LEE *et al.*, 2001).

3. MATERIAIS

3.1. Agregados

Os materiais utilizados nesta pesquisa foram, em parte, semelhantes ao trabalho MOREIRA *et al.* (2005). Os agregados utilizados foram brita 3/4” proveniente da pedreira de Itaitinga, areia de rio proveniente de Croatá e cimento Portland POTY CP 2Z 32 – RS utilizado como material de enchimento. Estes materiais foram sugeridos em SANTANA (1993) para a produção de misturas de PMFs densos.

O agregado virgem é originado na cidade de Itaitinga, situada a 30km da capital do 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 317/97. Em vista ao desempenho satisfatório de vias no estado (SILVEIRA, 1998; 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. Foi realizada também a granulometria do material (DNER - ME 083/98). Também foi determinada a densidade real do agregado seguindo as especificações DNER - ME 081/98, sendo o valor médio encontrado de: 2,653. A areia de rio foi coletada no rio Inhuçu do Município de Croatá, distante 275Km de Fortaleza. Também foi determinada a densidade real da areia de campo seguindo as especificações DNER - ME 084/95. O valor médio encontrado foi 2,647. No que diz respeito ao cimento Portland, resolveu-se escolher este fíler pela literatura consultada (SANTANA, 1995; CASTELO BRANCO, 2004). O ensaio para determinação de massa específica do material de enchimento seguiu a Norma DNER - ME 085/94. O resultado para o Cimento Portland foi de 3,1.

3.2. Emulsão Asfáltica

As misturas foram confeccionadas com emulsão RL-1C proveniente da Asfaltos Nordeste, ou seja, com um teor mínimo de CAP de 60% e viscosidade Saybolt Furol a 50°C de no máximo 70s. A caracterização, realizada tanto pela fornecedora como nas dependências do LMP/UFC, consta na Tabela 1. A escolha da Emulsão RL-1C baseou-se na experiência do corpo técnico do LMP/UFC (MOREIRA e SOARES, 2002).

Tabela 1: Características da emulsão RL-1C

Característica	Unidade	Asfaltos Nordeste	LMP	Método
Viscosidade Saybolt-Furol	S	Max 70	60	NBR 581
Sedimentação	% em peso	5	4	NBR 6570
Penetração 0,84mm	% em peso	0,1	0,000	NBR 609
Resistência à água	% min			NBR 6300
Agregado seco	% min	80		NBR 6300
Agregado úmido	% min	60		NBR 6300
Mistura com cimento	% max	2		NBR 6297
Mistura com fíler silícico	% max	1,2		NBR 6302
Carga da partícula		Positiva	Positiva	NBR 6567
pH	Max	6,5	2,5	NBR 6299
Solvente destilado	% em vol	Nula		NBR 6568
Resíduo mínimo	% em peso	60	62	
Desemulsibilidade mínimo	% em peso	-		NBR 6569
Desemulsibilidade máximo	% em peso	-		NBR 6569

4. METODOLOGIA

4.1. Compactação por Impacto

A pesquisa laboratorial usou a metodologia Marshall adaptada para ensaios de agregados, ligante e moldagem dos corpos-de-prova. O enquadramento da faixa escolhida pode ser visualizado na Figura 1. Esta faixa foi sugerida por SANTANA (1993) para estudos de PMF's densos. Trata-se da Faixa F do DNER com pequenas modificações.

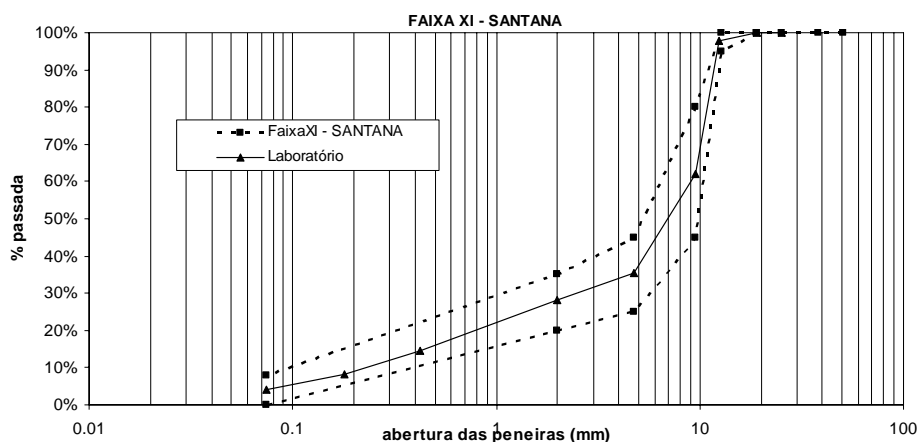


Figura 1: Enquadramento da mistura na faixa XI proposta por SANTANA (1993)

Seguindo a metodologia proposta por SANTANA (1993), de acordo com a Fórmula de Duriez, estipulou-se o teor de emulsão asfáltica (EA) inicial. Os CP's foram moldados utilizando a recomendação DNER - ME 107/94. Após homogeneização a mistura permaneceu 60 minutos, devido a utilização da emulsão RL-1C, em temperatura ambiente para após ser compactada. Antes da definição do teor de projeto foi preciso deixar as amostras durante 6 horas na estufa a 70°C para efetuar a cura após a compactação (SANTANA, 1993). Foram observados os limites do DNER de V_V (5% a 30%) e RBV (55% a 75%) para revestimentos do tipo PMF (DNER ES 317/97). Traçou-se então um gráfico com os limites especificados determinando 4 valores de EA. A média dos valores centrais é adotada como teor de projeto (SOARES *et al.*, 2000).

SANTANA (1993) sugere a determinação do teor de projeto de acordo com o teor que obtiver a maior densidade aparente do corpo de prova. Constatou-se, portanto, uma contradição entre os teores de projeto obtidos nos dois métodos. Os resultados apresentaram 8,9% segundo a metodologia encontrada em SOARES *et al.* (2000) e 7,6% considerando a densidade máxima. Necessitou-se optar por uma terceira metodologia para esclarecimento com relação ao teor de projeto dos PMF's densos. CASTRO NETO (2000) e CASTELO BRANCO (2004) aconselham a adoção do parâmetro mecânico como fator determinante na escolha do teor de projeto, para ambos processos de compactação.

4.2. Compactação por Amassamento

O procedimento seguiu os passos iniciais da metodologia Marshall. Os agregados, ligante e curva granulométrica são as mesmas apresentadas no item anterior. Os teores estudados também, e devido ao problema ocorrido na determinação do teor ótimo na compactação por impacto, foi selecionado o teor ótimo através de parâmetro mecânico.

O compactador utilizado para este trabalho foi o modelo existente no LMP/UFC, um Troxler modelo 4140, tem as características de ângulo de giro de $1,25 \pm 0,2^\circ$; rotação de 30 giros por minuto; e pressão vertical durante os giros de 600kPa. As amostras foram compactadas com cilindro de 100mm assim possibilitando uma comparação imediata com os resultados obtidos no

procedimento Marshall. O número de giros foi de 50, conforme literatura consultada (CROSS, 2002).

5. CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA

A caracterização mecânica determinou a escolha do teor de projeto, conforme citado anteriormente. Foram realizados ensaios de Resistência à Tração (RT) segundo a Norma DNER - ME 138/94 das misturas. Os resultados são apresentados na Tabela 2. A Figura 2 apresenta em seguida o gráfico dos valores de RT para cada teor de emulsão utilizado. Também foram realizados segundo a recomendação DNER - ME 133/94 os ensaios de Módulo de Resiliência (MR) por compressão diametral e o ensaio de desgaste Cantabro (DNER - ME 383/99) nas misturas produzidas no teor ótimo.

Tabela 2: Resistência à Tração (RT) das Misturas

Teor de Emulsão (%)	RT (MPa)Comp. Impacto	RT (MPa)Comp. Amassamento
7,1	1,05	1,07
7,6	1,13	1,22
8,1	1,07	1,20
8,6	0,98	1,21
9,1	0,70	1,15

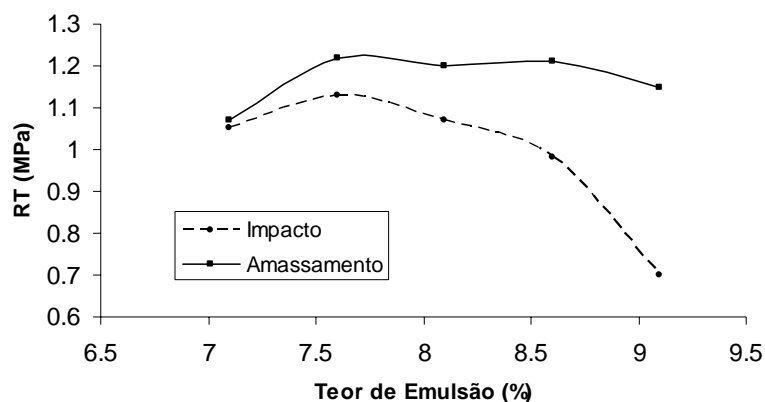


Figura 2: Resistência à Tração (RT) para diferentes teores de emulsão

Os resultados de RT encontrados para os PMF's mostraram-se baixos quando comparados com resultados de Concretos Betuminosos Usinados à Quente (CBUQ) convencionais (LOUREIRO, 2003; PINHEIRO, 2004), porém acima de valores encontrados na literatura observada (CLERMAN, 2004). Observando-se a recomendação DNER - ME 133/94 foram realizados ensaios de MR. Os resultados são apresentados na Tabela 3. Os valores de MR encontrados nos CP's mostraram-se satisfatórios uma vez que se apresentam em torno de 2.000 MPa, sendo, portanto próximo com os valores de um CBUQ convencional (SOARES *et al.*, 2000). Os

resultados de desgaste Cantabro (Tabela 4) apresentaram-se baixo, sendo que o resultado das misturas realizadas por amassamento foi em média 6,4 pontos percentuais menores que os realizados por impacto. O resultado de ensaio Cantabro indica a resistência ao desgaste, patologia comum em revestimentos de misturas a frio (SILVEIRA, 1999).

Tabela 3: Módulo de Resiliência (MR)

CP no teor ótimo	MR (MPa) Comp. Impacto	MR (MPa) Comp. Amassamento
1	2.520	2.152
2	2.174	1.988
3	2.904	2.636

Tabela 4: Desgaste Cantabro

CP no teor ótimo	Desgaste (%) Comp. Impacto	Desgaste (%) Comp. Amassamento
1	8,1	1,5
2	9,3	1,1
3	6,2	1,8

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As misturas PMF, em ambas as compactações investigadas, obtidas em laboratório apresentam baixos valores de RT quando comparadas ao CBUQ convencional, não sendo, portanto, adequados para vias de alto volume de tráfego. No entanto, as misturas apresentaram valores compatíveis com aqueles obtidos para misturas a frio se mostrando uma alternativa para vias de médio e baixo volume de tráfego. Os valores de MR encontrados nas misturas apresentaram-se próximos aos relatados pela literatura para misturas a quente.

Para a compactação por impacto o aumento na taxa de incorporação do teor de emulsão nas misturas mostrou-se inversamente proporcional para a resistência mecânica, ou seja, quanto mais elevado o teor de ligante menores os valores obtidos de parâmetros mecânicos. Para a compactação por amassamento, o teor de ligante não demonstrou influência significativa. Os valores de Desgaste Cantabro foram o principal diferencial das misturas realizadas nos diferentes processos de compactação, demonstrando uma superioridade da compactação por amassamento em relação à capacidade de resistência ao desgaste.

A continuação deste trabalho, com a realização de outros ensaios mecânicos, é necessária para que os parâmetros acima citados possam ser verificados de forma a se tentar obter resultados mecânicos esclarecedores. Assim como a extensão da comparação entre outras misturas a frio, tais como Areia Asfalto Usinado a Frio (AAUF).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABEDA, 2001, Manual Básico de Emulsões Asfálticas. 1ª ed. Rio de Janeiro, RJ.

- ALBUQUERQUE, A.P.F.; PINTO, S.; VIEIRA, A.; VENTORINI, L.A.; LOPES, L.A.S., 2004, Influência da Energia de Compactação e da Temperatura de Moldagem nas Propriedades Mecânicas de Corpos-de-prova de Concreto Asfáltico, 35ª Reunião Anual de Pavimentação, ABPv, Rio de Janeiro, RJ.
- ALDIGUERI, D.R.; SILVEIRA, M.A.; SOARES, J.B., 2001, Estudo Comparativo entre Compactação Manual e Automática de Misturas Asfálticas, 33ª Reunião Anual de Pavimentação, ABPv, Florianópolis, SC.
- ASPHALT INSTITUTE, 1989, The asphalt handbook Manual Series no. 4 (MS-4) p. 43 U.S.A.
- 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.
- CASTELO BRANCO, V.T.F., 2004, Caracterização de Misturas Asfálticas com o Uso de Escória de Aciaria como Agregado. Tese de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ.
- CASTRO NETO, A.M., 2000, Proposta de Projeto de Dosagem de Concreto Betuminoso Reciclado a Quente. Dissertação de Mestrado, EPUSP, USP. SP.
- CLERMAN, D.S., 2004, Estudo Laboratorial de Misturas Asfálticas a Frio Produzidas com Incorporação de Borracha de Pneu. Tese de Mestrado, PPGE/UFRGS, RS.
- CROSS, S.A., 1999, Experimental Cold In-Place Recycling with Hydrated Lime.” Transportation Research Record No. 1684, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., USA.
- CROSS, S.A., 2002, Determination of N Design for CIR Mixtures Using the Superpave Gyrotory Compactor, RMRC Final Report, Lawrence, Kansas, USA.
- DNER, 1998, ME 083 – Agregados – análise granulométrica.
- DNER, 1998, ME 081 – Agregados – determinação da absorção e da massa específica de agregado graúdo.
- DNER, 1997, ES 317 – Pavimentação – pré-misturados a frio.
- DNER, 1994, ME 085 – Material finamente pulverizado- determinação da massa específica real.
- DNER, 1995, ME 084 – Agregado miúdo – determinação da densidade real.
- DNER, 1994, ME 107 – Mistura betuminosa a frio com emulsão asfáltica – ensaio Marshall.
- DNER, 1994, ME 133 - Misturas Betuminosas - determinação do módulo de resiliência.
- DNER, 1994, ME 138 - Misturas Betuminosas - determinação da resistência à tração por compressão diametral.
- DNER, 1998, ME 35 – Agregados – determinação da abrasão “Los Angeles”.
- IBP/Comissão de Asfalto, 1990, – As Emulsões Asfálticas e suas Aplicações Rodoviárias.
- IBP/Comissão de Asfalto, 1999, Informações Básicas sobre Materiais Asfálticos, 6ª edição revista, Rio de Janeiro.
- LEE, K.W.; BRAYTON, T.E.; VEYERA, G.; HUFFMAN, J.; HARRINGTON, J., 2001, Modified Superpave Mix Design for Cold in Place Recycling Asphalt Mixtures, 2nd International Symposium on Maintenance and Rehabilitation of Pavements and Technological Control, Auburn Alabama, USA.
- LOUREIRO, T.G., 2003, Estudo da Evolução do Dano por Fadiga em Misturas Asfálticas. Dissertação de Mestrado. PETRAN, UFC, CE.
- MOTTA, L.M.G., 1998, Contribuição para a Estimativa do Módulo Resiliente de Misturas Asfálticas, 14º Encontro do Asfalto, IBP, Rio de Janeiro, RJ.
- 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.
- PRADO, C.A.; e SÓRIA, M.H.A., 2003, “Contribuição à Dosagem de Misturas de Areia-Asfalto Feitas com Emulsão de Ruptura Lenta”. 34º Reunião Anual de Pavimentação. Campinas, SP.
- ROBERTS, F. L., KANDHAL, P. S., BROWN, E. R., LEE, D. Y. e KENNEDY, T. W., 1996, Hot Mix Asphalt Material, Mixture, Design, and Construction. Segunda Edição, NAPA Education Foundation, Lanham, Maryland.
- SILVEIRA, M.A., 1999, Estudo de Adição de Polímero em Areia-Asfalto a Frio. Dissertação de Mestrado. EESC, USP, SP.
- SANTANA, H., 1993, Manual de Pré-misturados à frio. IBP/Comissão de Asfalto. Rio de Janeiro, RJ.
- SANTANA, H., 1995, Considerações Sobre os Nebulosos Conceitos e Definição de Filler em Misturas Asfálticas. 29a. Reunião Anual de Pavimentação. Cuiabá, MT.
- 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
- SULLIVAN, J., 1996, Pavement Recycling Executive Summary and Report. FHWA-AS-95-060, USA.
- 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,

Heberton Souto Moreira (hsmoreira@det.ufc.br) ,

Jorge Barbosa Soares (jsoares@det.ufc.br) ,

Daniel R. Do Nascimento (daniel@det.ufc.br)

Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia – Campus do Pici, S/ N°
Departamento de Engenharia de Transportes, DET Bloco: 703 CEP: 60.455-970
Fortaleza - Ceará - Brasil