

COMPORTAMENTO MECÂNICO DE MISTURAS ASFÁLTICAS RECICLADAS COM USO DE COMPACTAÇÃO POR IMPACTO E POR AMASSAMENTO

*MECHANICAL BEHAVIOUR OF RECYCLED ASPHALT MIXTURES USING COMPACTION BY IMPACT
AND BY COMPRESSION*

**Maria das Vitórias do Nascimento¹, José de Arimatéia Almeida e Silva², Adriano Elísio de Figueirêdo
Lopes Lucena³, Lêda Christiane de Figueirêdo Lopes Lucena⁴, Stephanny Conceição Farias do Egito
Costa⁵**

¹Universidade Estadual da Paraíba, PB. E-mail: vitoriaeng@yahoo.com.br

Universidade Federal de Campina Grande, PB

²E-mail: arimateia.allmeida@gmail.com

³E-mail: lucenafb@uol.com.br

⁴E-mail: ledach@uol.com.br

⁵E-mail: stephanny_egito@hotmail.com

RESUMO

O desenvolvimento sustentável faz com que pesquisadores e órgãos de infraestrutura rodoviários busquem alternativas que tragam benefícios, não só no âmbito ambiental, como social e econômico. A utilização do material resultante da fresagem de revestimento de pavimentos deteriorados, que é incorporado às novas misturas em substituição aos agregados novos, contribui para a reciclagem do pavimento. Essa alternativa minimiza a exploração de recursos naturais não renováveis, fornece uma destinação adequada aos resíduos, além de promover economia na recuperação e manutenção da malha rodoviária. Este trabalho teve por objetivo estudar o comportamento mecânico de misturas asfálticas recicladas contendo material fresado em diferentes proporções: 5%, 10%, 15%, 20%, 25% e 30%. Para atingir o objetivo foram realizados ensaios de resistência à tração e módulo de resiliência, compactados por impacto (Marshall) e por amassamento (giros). Os resultados permitem concluir que, das misturas asfálticas recicladas estudadas, as mais adequadas para serem usadas em pavimentos flexíveis são as que têm em sua composição 10%, 15% e 20% de material fresado. Verificou-se, também, a influência dos métodos de compactação no comportamento mecânico das misturas asfálticas recicladas, uma vez que a compactação por giros diminuiu substancialmente o volume de vazios das misturas.

Palavras-chaves: Material fresado, Marshall, Superpave, Resistência à tração, Módulo de Resiliência.

ABSTRACT

The necessity of a sustainable development makes researchers and road agencies search for alternatives that bring benefits not only on the environmental sector but also to the social and economic as well. The utilization of the resultant material from the cutted deteriorated pavement overlay incorporated to the new mixtures instead of the new compounds contributes to the asphalt recycling process. This solution minimizes the misuse of non renewable natural resources, gives a proper destination to the residues, besides achieving expenses deduction on the recovery and maintenance of the road network. The goal of this paper is to study the mechanical behavior of the recycled asphaltic mixtures containing cutted material in different proportions: 5%, 10%, 15%, 20%, 25% and 30%. To achieve the purpose, trials of tensile strength and resilient modulus, compacted by impact (Marshall) and by compression (gyrations) were performed. The results reveal that from the studied recycled asphaltic mixtures, the most suitable to be used on flexible pavement are the ones with 10%, 15% and 20% of cutted material. It was also noticed the influence of the compaction methods in the mechanical behavior of the recycled asphaltic mixtures, once that gyrations compaction highly decreased the amount of vacant mixtures.

Keywords: Cutted material, Marshall, Superpave, Tensile strength, Resilient modulus.

1 – INTRODUÇÃO

A opção pelo transporte rodoviário traz consigo diversas consequências ambientais. Sabe-se que as atividades de construção de estradas, como: mobilização, instalação do canteiro de obras, implantação da obra e a posterior desmobilização, além da manutenção e recuperação dos pavimentos quando deteriorados, causam impactos ambientais. Os impactos são ocasionados por serviços de terraplanagens, exploração de jazidas, bota-foras, evasão de fauna, processos migratórios, desapropriações, acessibilidade, alterações da qualidade da água, do ar e do solo, (COSTA, 2010).

Com a preocupação mundial pelo desenvolvimento sustentável e a implantação no Brasil da Política Nacional de Meio Ambiente (PNMA), instituída pela lei 6.938/81, as obras de infraestruturas tiveram que adequar suas atividades desde a fase de planejamento até a implantação da obra, além da fase de conservação e da restauração após a deterioração das rodovias, em função do excesso de peso dos veículos, má execução das obras, ou mesmo pelo desgaste natural da vida útil dos pavimentos.

Diante dessa nova realidade os órgãos de infraestrutura rodoviária estão estudando alternativas para suas atividades devido ao risco de escassez de matérias primas (petróleo e agregados minerais) e a rigurosidade

das políticas ambientais. Uma das possíveis soluções é a reciclagem de pavimentos por meio da incorporação do material removido de revestimentos deteriorados pela técnica de fresagem.

De acordo Momm e Domingues (1995) *apud* Costa (2010) a reciclagem de pavimentos é a reutilização total ou parcial dos materiais existentes no revestimento, base e sub-base. Na reciclagem os materiais são remisturados no estado em que se encontram, ou tratados por energia térmica e/ou aditivados com ligantes novos ou rejuvenescedores, com ou sem recomposição de sua granulometria. O princípio básico da reciclagem é fragmentar, triturar e retirar a camada antiga do pavimento e reutilizá-la combinando-a com materiais novos.

A técnica de reciclagem de pavimentos surgiu para atender questões ambientais, pois traz a possibilidade de reaproveitamento dos agregados e ligantes que compõem as camadas de ligação e de rolamento do pavimento, contribuindo para dois aspectos importantes: o econômico e o ambiental. A reutilização desses materiais colabora para minimização da exploração de pedreiras e jazidas de solos e petróleo, favorecendo regiões onde há escassez desses materiais.

A reciclagem de pavimentos apareceu na década de 30, no entanto, só despertou interesse na década de 70 com a crise do petróleo, e foi aprimorada a partir do desenvolvimento do equipamento de fresagem simultaneamente na Europa e na América do Norte, porém, no Brasil o equipamento foi utilizado somente na década de 1980. A fresagem de pavimentos asfálticos, é uma técnica consolidada no processo de restauração de pavimentos, no entanto, a remoção desses pavimentos gera um acúmulo de resíduos, com potencial para incorporação na composição de novas misturas asfálticas.

Entretanto, a opção por esta tecnologia tem sido feita exclusivamente com base no fator econômico. Na maioria das obras não é realizado um estudo prévio capaz de selecionar a modalidade mais apropriada, segundo os critérios técnicos, econômico e ambiental (RAMOS, 2009).

A reciclagem de pavimentos, certamente, contribui para os critérios econômico e ambiental, necessitando, portanto, de investigações no sentido de estudar a viabilidade técnica desta tecnologia. Nesse contexto, o objetivo desse trabalho foi estudar o comportamento mecânico de misturas asfálticas com percentuais 5%, 10%, 15%, 20%, 25% e 30% de materiais fresados em substituição a materiais novos.

2 – METODOLOGIA E CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS UTILIZADOS

Para desenvolvimento desta pesquisa, foi utilizado material fresado removido da camada de rolamento da BR-101/PB – Lote 05, brita 19 mm, brita 9,5 mm e pó de pedra extraídos da pedreira localizada na BR-230/PB, cal hidratada e CAP 50/70.

2.1 Material fresado

Na Tabela 1 são apresentadas as distribuições granulométricas do material fresado antes e depois da extração do betume. O ensaio de análise granulométrica foi realizado de acordo com a norma DNIT ME 083:1998 (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES, 1998). Para extração do betume do material fresado foi utilizado o xileno como solvente. O material fresado apresentou um teor de CAP de 6,4%. Este teor de CAP não foi considerado no cálculo do teor ótimo obtido na dosagem embora este esteja indiretamente presente.

Tabela 1 – Distribuições granulométricas do material fresado

Peneira	Abertura (mm)	% passante	
		Material fresado	Material fresado pós-extração
1 1/2"	38,1	100,00	100,00
1"	25,4	100,00	98,51
3/4"	19,1	90,61	96,17
1/2"	12,7	78,88	88,35
3/8"	9,5	68,90	82,18
Nº 4	4,8	41,46	67,28
Nº 10	2,0	21,09	55,12
Nº 40	0,42	5,71	32,00
Nº 80	0,18	3,22	15,23
Nº 200	0,074	2,59	6,16

O material fresado apresentou uma granulometria mais fina após a extração do betume, devido ao solvente dissolver os grumos formados pela interação dos agregados finos com o ligante. A incorporação de percentuais elevados de material fresado *in natura*, nas misturas estudadas nesta pesquisa, as tornaram menos densas e conseqüentemente menos resistentes. Esta diminuição da densidade ocorre devido ao volume de vazios mais acentuado, uma vez que a presença dos grumos não permite uma adequada distribuição granulométrica.

Entretanto, a utilização do resíduo *in natura*, ou seja, sem a extração de betume, é mais vantajosa economicamente, pois não se utilizam solventes derivados de petróleo que aumentaria o custo do processo. Além disso, durante a extração são gerados resíduos com igual, ou superior, potencial poluidor ao material fresado removido do revestimento do pavimento.

2.2 Agregados naturais

Na Tabela 2 são apresentadas as distribuições granulométricas dos agregados minerais utilizados na pesquisa, em que também foi utilizada cal hidratada empregada na função de fíler e CAP 50/70.

Tabela 2 – Distribuições granulométricas dos agregados minerais

Peneira	Abertura (mm)	% passante		
		Brita 19 mm	Brita 9,5 mm	Pó de pedra
1 1/2"	38,1	100,00	100,00	100,00
1"	25,4	100,00	100,00	100,00
3/4"	19,1	83,27	100,00	100,00
1/2"	12,7	26,12	99,48	100,00
3/8"	9,5	11,87	90,23	99,84
Nº 4	4,8	0,92	8,10	99,59
Nº 10	2,0	0,53	2,12	78,83
Nº 40	0,42	0,48	1,57	35,28
Nº 80	0,18	0,39	1,25	17,83
Nº 200	0,074	0,28	0,88	8,83

2.3 Misturas asfálticas recicladas

Foram realizadas as composições granulométricas das misturas recicladas compostas por agregados novos e material fresado *in natura* (sem extração de betume), isto é, para cada teor de material fresado foram obtidas percentagens de agregados novos diferentes. As misturas foram dosadas com a finalidade de que suas granulometrias se enquadrassem na faixa “C” da especificação de serviço do concreto asfáltico do DNIT ES 031:2006 (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES, 2006), comumente utilizada na região nordeste. Além disso, elas também obedecem às zonas de restrição e pontos de controle preconizados na metodologia Superpave. As misturas asfálticas foram realizadas sem tempo de envelhecimento e com temperatura de usinagem do CAP (160 °C) e de Compactação (145 °C) determinados por meio do ensaio de viscosidade Saybolt-Furol.

O ensaio Marshall, DNIT ME 043:1995 (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES, 1995) foi realizado com cinco teores de CAP (3,5%, 4,0%, 4,5%, 5,0% e 5,5%) para as misturas recicladas. Na Tabela 3 é apresentado o teor ótimo de CAP para cada percentagem de material fresado, determinado segundo os critérios dos parâmetros Marshall.

Tabela 3 – Teores ótimos de CAP das misturas recicladas

Material fresado (%)	Teor ótimo de CAP (%)
5	4,40
10	5,00
15	5,40
20	5,10
25	5,30
30	5,20

Após a determinação do teor ótimo de CAP, foram comparados os parâmetros volumétricos obtidos em amostras compactadas por impacto (Marshall) e por giratória (Superpave). Os ensaios submetidos a esse tipo de compactação foram compactados no Compactador Giratório da Marca SERVOPAC, com ângulo de giro de 1,250 e tensão vertical de 600 kPa. O critério de parada da

compactação Superpave adotado foi a média das alturas dos corpos-de-prova alcançadas na compactação Marshall. Portanto, o número de giros necessários para compactação variou em função da altura requisitada.

No processo de compactação foram utilizadas energias diferentes, pois a finalidade era estudar como os parâmetros volumétricos e de resistência de corpos de prova com dimensões equivalentes variavam com ambos os tipos de compactação.

Na Tabela 4 são apresentados os parâmetros volumétricos volume de vazios (Vv), relação betume vazios (RBV) e vazios do agregado mineral (VAM) em função das compactações.

Tabela 4 – Parâmetros volumétricos das misturas em função das compactações

Teor de MF* (%)	Teor ótimo CAP (%)	Compactação por impacto			Compactação por giros		
		Vv (%)	RBV (%)	VAM (%)	Vv (%)	RBV (%)	VAM (%)
5	4,46	4,38	69,67	14,43	1,47	87,67	11,82
10	5,00	3,75	75,09	15,00	0,41	96,71	12,04
15	5,44	3,51	77,65	15,52	0,25	98,01	12,67
20	5,10	3,03	79,08	14,35	0,71	94,13	12,18
25	5,32	3,50	77,26	15,14	0,46	96,28	12,30
30	5,20	4,64	70,78	15,84	0,47	96,14	12,38

* Material fresado

Na compactação Marshall, o volume de vazios (Vv), de todas as misturas recicladas, ficaram dentro dos limites estabelecidos pelo DNIT ES 031:2006 (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES, 2006), – 3% a 5%. O parâmetro relação betume vazios (RBV), onde o valor especificado pelo DNIT é 75% a 82%, as misturas recicladas contendo 5% e 30% de material fresado não se enquadraram dentro da faixa. Para o tamanho nominal máximo do agregado de 19 mm, caso das misturas em estudo, a norma diz que o valor mínimo do parâmetro volume de vazios do agregado mineral (VAM) deve ser de 15%. Entretanto, as misturas recicladas com percentuais de 5% e 20% de material fresado não atenderam ao preconizado. Apesar do critério de dosagem utilizado na escolha do teor ótimo de CAP das misturas ser baseado no atendimento total a esses parâmetros, algumas misturas não atenderam totalmente tais critérios.

Ressalta-se que os critérios volumétricos não asseguram que o teor ótimo de projeto corresponda ao melhor teor para todos os aspectos do comportamento de uma mistura asfáltica.

Na compactação giratória observa-se que os parâmetros volumétricos especificados da norma do DNIT ES 031:2006 (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES, 2006), não foram atingidos. Do mesmo modo, as misturas não atenderam o preconizado na metodologia Superpave com relação ao volume de vazios (Vv = 4%) e a relação betume vazios (65% < RBV < 75%).

A discrepância encontrada nos resultados para os dois tipos de compactação evidencia as diferenças desses procedimentos, ou seja, os teores ótimos obtidos nas

dosagens Marshall não são representativos ao adotar-se outro tipo de compactação, revelando que o índice de vazios e a estrutura interna das misturas asfálticas são dependentes deste procedimento.

Destaca-se que os corpos de provas foram dosados de acordo com a metodologia Marshall e apenas compactados por amassamento (giros), utilizando-se como critério de parada a altura final dos corpos de provas obtida na compactação Marshall. Portanto, o não atendimento dos parâmetros volumétricos na compactação Superpave já era esperado.

Pelos resultados, verifica-se o quão diferentes são os parâmetros obtidos utilizando os dois tipos de compactação. Verificou-se a redução substancial do volume de vazios das misturas, originando misturas mais densas.

Marques (2004) também observou que o volume de vazios diminui com a compactação giratória. O autor reportou que nas misturas compactadas por impacto, os vazios são distribuídos de maneira uniforme ao longo da altura do corpo de prova, já na compactação por giratória os vazios se concentram próximos às faces horizontais indicando que existe maior densificação na parte central. Segundo Marques (2004) a forma de distribuição dos vazios deve influenciar na obtenção dos parâmetros mecânicos, especialmente aqueles obtidos nos estados últimos de ruptura.

3 – CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DAS MISTURAS ALSFÁLTICAS ESTUDADAS

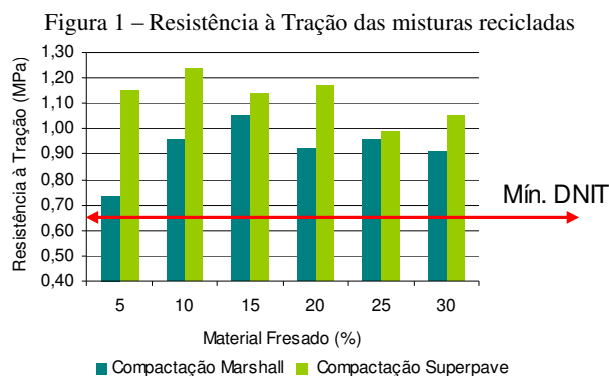
Nas seções a seguir são apresentados os resultados dos ensaios de Tração Indireta por Compressão Diametral, Módulo de Resiliência e o Ensaio Lottman.

3.1 Ensaio de Tração Indireta por Compressão Diametral

O ensaio de tração indireta por compressão diametral foi realizado de acordo com o DNIT ME 136:2010 (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES, 2010). Na Tabela 5 são apresentados os resultados de Resistência à Tração (RT) obtidos dos corpos de prova moldados por impacto (golpes) e compactados por amassamentos (giros), para as misturas recicladas contendo 5%, 10%, 15%, 20%, 25% e 30% de material fresado. Na Figura 1 são apresentados, graficamente, os resultados das resistências comparando-se com a mínima exigida na norma do DNIT, que é de 0,65 MPa, para a camada de rolamento, faixa C.

Tabela 5 – Resultados dos ensaios de Resistência à Tração Indireta por Compressão Diametral

Quantidade de Material Fresado (%)	Resistência à Tração (MPa)	
	Compactação Marshall	Compactação Superpave
5	0,74	1,15
10	0,96	1,24
15	1,05	1,14
20	0,92	1,17
25	0,96	0,99
30	0,91	1,05



Analisando-se as Tabela 5 e a Figura 1 observa-se que todas as misturas ensaiadas atenderam às especificações contidas na DENIT ES 031:2006 (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES, 2006). As misturas recicladas compactadas por giros obtiveram valores de RT superiores às compactadas no outro sistema, embora ambas apresentaram o mesmo padrão de comportamento.

3.2 Módulo de Resiliência

O ensaio de Módulo de Resiliência foi realizado de acordo com a norma ASTM D 4123:1982 (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, 1995). A força vertical aplicada foi equivalente a 20% da resistência à tração, com condicionamento de 50 pulsos e a temperatura de 25 °C. Nas Tabela 6 e Figura 2 são apresentados os resultados dos ensaios de módulo de resiliência para os corpos de provas compactados por impacto e por giratória. Os valores de MR variaram com o tipo de compactação, pois as estruturas do esqueleto mineral e as propriedades volumétricas diferem de acordo com o tipo de compactação adotado. Os valores encontrados na compactação por impacto ficaram abaixo do referenciado na literatura, que é de 4.000 a 8.000 MPa para concretos asfálticos reciclados a 25 °C (BERNUCCI *et al.*, 2007), enquanto para a compactação Superpave pode-se admitir que todos os valores encontrados atendem aos limites referenciados.

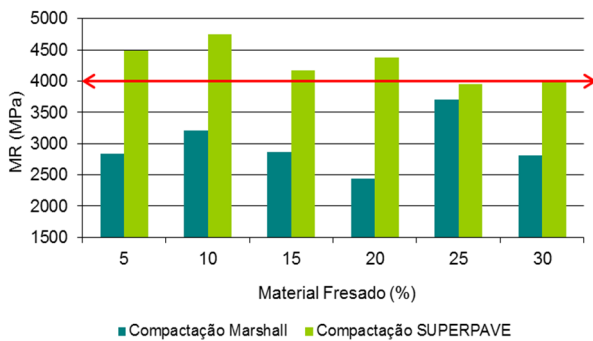
Da mesma forma que os resultados obtidos no ensaio de RT, os módulos de resiliência das misturas compactadas por amassamento foram superiores às compactadas por impacto. Este resultado já era esperado uma vez que estudos indicam que a compactação por amassamento simula melhor o comportamento que ocorre em campo.

Este fato ocasiona a diminuição do índice dos vazios, quando comparadas ao outro tipo de compactação, tornando as misturas mais rígidas e densas. Entretanto, deve-se estudar a fadiga dessas misturas para evitar o trincamento prematuro.

Tabela 6 – Módulos de resiliências e resistências à tração das misturas

Material Fresado (%)	Compactação Marshall		Compactação Superpave	
	MR (MPa)	RT (MPa)	MR (MPa)	RT (MPa)
5	2.841	0,74	4.489	1,15
10	3.206	0,96	4.743	1,24
15	2.864	1,05	4.166	1,14
20	2.445	0,92	4.375	1,17
25	3.704	0,96	3.945	0,99
30	2.805	0,91	3.984	1,05

Figura 2 – Resultados do ensaio de Módulo de Resiliência



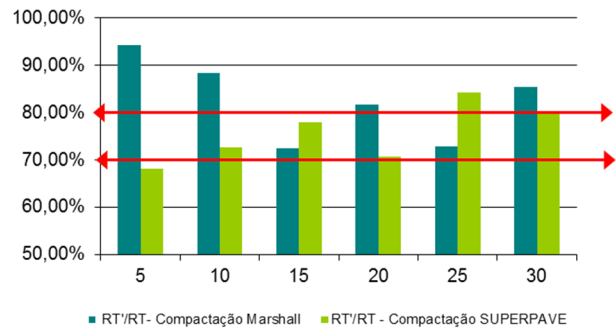
3.3 Ensaio de Lottman

Os ensaios de Lottman foram realizados de acordo com norma da AASHTO T 283:2002 (AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS, 2002), com temperatura de congelamento de 10 °C, pois esta é a mínima temperatura encontrada na região Nordeste, e foi adotado os índices de vazios encontrados para cada mistura. Os resultados dos ensaios realizados com misturas recicladas compactadas por impacto revelam que as misturas têm resistência satisfatória à ação deletéria da água. Todas as misturas recicladas compactadas por impacto, nas proporções estudadas apresentaram a Relação de Resistência à Tração superior ao preconizado pela ASTM (RRT >70%). No entanto, na compactação giratória apenas as misturas recicladas com proporções de 25% e 30% de material fresado atenderam as especificações Superpave (RRT >80%).

Apenas a mistura reciclada contendo 5% de material fresado, compactada por giratória, apresentou perda de resistência superior a 30%, ou seja, após o condicionamento esta mistura atingiu apenas 68,10% da resistência da mistura sem condicionamento. As demais misturas apresentaram RT dentro dos limites aceitáveis. No entanto, apenas as misturas contendo 25 e 30% de material fresado apresentaram resistências, após

condicionamento, superiores aos especificados. Na Figura 3 são apresentados, graficamente, os resultados.

Figura 3 – Resultados do ensaio de Lottman



CONCLUSÕES

Os corpos de prova compactados por impacto apresentaram volume de vazios superiores aos compactados por giros. Conseqüentemente, apresentam valores de RT e MR menores, demonstrando que nesta pesquisa a compactação por impacto ocasiona misturas menos densas.

Considerando uma análise conjunta dos ensaios de resistência à tração por compressão diametral e módulo de resiliência conclui-se que: todas as misturas estudadas (compactação Marshall e Superpave) atendem as especificações estabelecidas por norma.

Em relação ao ensaio de Lottman modificado, na compactação Marshall todas as misturas recicladas apresentaram resistência à tração após o condicionamento superior a 70% (ASTM – D 4123) da resistência à tração das misturas sem condicionamento. Dentre as misturas submetidas ao processo de compactação Superpave, apenas a que possui 5% de material fresado não atende as especificações da ASTM – D 4123; já para o limite determinado na metodologia Superpave (RRT >80%) apenas as misturas com porcentagem de 25 e 30% de material fresado atendem aos requisitos.

Portanto, o pavimento reciclado só apresentará bom desempenho se for produto de um projeto bem concebido, executado e controlado. Para validação dos resultados obtidos na pesquisa recomenda-se a realização de estudos complementares em laboratório (fadiga, creep etc.) e construção de trecho experimental com os melhores teores de misturas recicladas obtidas.

AGRADECIMENTOS

À Capes, ao Laboratório de Engenharia de Pavimentos da UFCG (LEP), ao Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da UFCG, à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental e à ATECEL – Associação Técnico Científica Ernesto Luiz de Oliveira Junior.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). **D 4123**: standard test method for indirect tension test for resilient modulus of bituminous. USA, 1982.

AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS (AASHTO). **T 283**: resistance of compacted bituminous mixture to moisture induced damage. USA, 2002.

BERNUCCI, L. B; MOTTA, L. M. G; CERATTI, J. A. P; SOARES, J. B. **Pavimentação asfáltica: Formação básica para engenheiros**. Petrobras. ABEDA. Rio de Janeiro, 2007.

COSTA, C. J. B. Aplicação de técnicas de reciclagem de pavimentos, como forma de minimizar os impactos ambientais causados em obras rodoviários no Brasil.

Revista ABPv, Associação Brasileira de Pavimentação, ano V, n. 16, p. 38-49, jan/fev/mar de 2010.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **ME 043:1995**: misturas betuminosas a quente: ensaio Marshall. Rio de Janeiro, 1995.

_____. **ME 083:1998**: análise granulométrica. Rio de Janeiro, 1998.

_____. **ES 031:2006**: pavimentos flexíveis: concreto asfáltico: especificação de serviço. Rio de Janeiro, 2006.

_____. **ME 136:2010**: misturas betuminosas: determinação da resistência à tração por compressão diametral. Rio de Janeiro, 2010.

MARQUES, G. L. O. **Utilização do módulo de resiliência como critério de dosagem de mistura asfáltica: efeito da compactação por impacto e giratória**. Tese (Doutorado), COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil, 2004.

RAMOS, C. R. Reciclagem de pavimentos flexíveis. **Asfalto em Revista**, ano I, n. 7, p. 20-23, set/out de 2009.