AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA INTENSIDADE E DO TEMPO DE CARREGAMENTO NA RESPOSTA ELÁSTICA DE MISTURAS ASFÁLTICAS DENSAS MODIFICADAS COM RESÍDUOS DE PALMILHAS

Luiz Henrique de Assis Fagundes¹; Jesner Sereni Ildefonso²; Vanessa Regina Veríssimo³

- ¹ Mestrando Universidade Estadual de Maringá UEM, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana PEU, Bolsista CNPq-CAPES, E-mail: <u>luizfagundes5@gmail.com</u>
- ² Prof. Orientador, Doutor, Universidade Estadual de Maringá UEM, Departamento de Engenharia Civil DEC, E-mail: jsildefonso@uem.br ³ Engenheira Civil - Universidade Estadual de Maringá – UEM, Departamento de Engenharia Civil – DEC, E-mail: vanessaverissimo91@hotmail.com

RESUMO

A utilização do EVA (etileno acetato de vinila) é abrangente na indústria calçadista, principalmente para fabricação de palmilhas. Com a característica do polímero de elevada capacidade de recuperação elástica, substituiu-se 1% da massa das britas de misturas asfálticas por EVA. Sendo necessário o conhecimento da recuperação elástica dos pavimentos considerando os diferentes tipos de solicitações de tráfego, através do ensaio de MR (Módulo de Resiliência), fez-se essa análise das misturas asfálticas, sobretudo no que diz respeito à fadiga do material. Neste ensaio verificou-se a resposta elástica dos CPs (corpos-de-prova), com diferentes tempos de aplicação e cargas. Identificou-se que com o acréscimo de tempo de aplicação de cargas em misturas com a presença de EVA, houve a diminuição do MR, dando um caráter mais flexível aos CPs. Já em misturas sem a presença do polímero, teve o aumento do MR, resultando em um caráter menos flexível. Dessa forma, pode-se concluir que o emprego de EVA em misturas asfálticas dependerá do tipo de pavimento e tráfego que será submetido. Se as camadas deste pavimento forem mais flexíveis e o tráfego rápido, misturas asfálticas com EVA desempenham uma melhor resposta elástica, diminuindo sua vida de fadiga.

PALAVRAS-CHAVE: Módulo de Resiliência, Resistência à Tração, Etileno Acetado de Vinila, Pavimentação.

1 INTRODUÇÃO

Atualmente no Brasil o principal modo de transporte é o rodoviário, contudo, ainda existe uma alta demanda por rodovias pavimentadas no país. De acordo com a Confederação Nacional de Transportes (CNT), dos 1.720.643,2 km de malha rodoviária existente no país, apenas 210.618,8 km são pavimentados, correspondendo a apenas 12,24% das rodovias brasileiras. Além de que, destas pavimentadas, 49,9% foram identificados algum tipo de deficiência no pavimento, com classificações do tipo regular, ruim ou péssimo (CNT, 2014).

Nabeshima et al. (2011) aponta uma definição mais específica aos pavimentos urbanos, como sendo estruturas compostas por diversas camadas de espessuras específicas executadas após a terraplenagem, onde em conjunto com o revestimento asfáltico, têm como finalidade resistir aos esforços (verticais, horizontais e tangenciais) derivados do tráfego de veículos e intempéries, de forma a proporcionar aos usuários segurança, conforto e economia.

Bernucci et al. (2006) no instante da abertura do tráfego inicia-se o processo de degradação contínua nos pavimentos asfálticos flexíveis, a qual ocorre por meio do acúmulo progressivo de deformações plásticas e trincas no revestimento betuminoso, resultante da interação entre intempéries climáticas o tráfego. Os principais defeitos que ocorrem, resultado da degradação do pavimento são as fissuras, trincas, panelas, deformações, exsudações e desagregação da camada de revestimento.

As obras de pavimentação consomem grandes volumes de agregados minerais e recursos minerais podendo facilmente absorver boa parte dos resíduos produzidos por pelo consumo humano ou atividades industriais, sendo desde borracha de pneu triturada, areia de fundição, casca de arroz e, também resíduos das indústrias calçadistas como o EVA (etileno acetato de vinila), com o objetivo de modificar tanto o asfalto (adições por via úmida) como a mistura asfáltica (adições por via seca). A substituição de matérias-primas virgens por materiais reciclados diminui a extração de recursos

naturais e ainda promove a redução do impacto ambiental no que se refere ao descarte de resíduos na natureza de forma inadequada. Contudo, o uso de materiais reciclados em misturas asfálticas ainda preocupa quanto a variação de desempenho e aumento de custos finais.

Os asfaltos modificados por polímeros têm demonstrado melhor resposta elástica quando submetidos a maior tempo de carregamento e intensidade, melhorando resistência às deformações e trincas por fadiga, sendo estes os principais defeitos encontrados em vias urbanas e rodovias.

De acordo com Brülé (1996), a redução da susceptibilidade térmica e aumento das propriedades de coesão da mistura asfáltica, são características que devem estar atreladas aos asfaltos modificados. Aumento substancial da resistência à deformação (em altas temperaturas) e às trincas térmicas (em baixas temperaturas), assim como melhor comportamento à fadiga.

O polímero etileno acetato de vinila (EVA) é amplamente utilizado na indústria calçadista para fabricação de palmilhas e solados, muitas vezes descartado incorretamente, acarreta em impactos nocivos ao meio ambiente. Por não ser um material biodegradável (resistente a agentes biológicos), necessita de grandes áreas para depósito devido a sua baixa densidade.

Classificados como um termoplástico ou plastômeros, os copolímeros de etileno-acetato de vinila (EVA) são assim nomeados por apresentam a características de escoar irreversivelmente quando submetidos a tensões cisalhantes. Possuem a capacidade de solubilizar-se nas frações saturadas do asfalto devido a sua natureza alifática contribuindo para melhora nas propriedades mecânicas do ligantes (CONSTANTINO et al., 1998).

Para a concepção desta pesquisa, foram utilizados resíduos de recorte de palmilhas compostas por EVA de indústrias calçadistas em substituição parcial do agregado mineral de misturas asfálticas, visando propor a utilização deste resíduo de maneira mais nobre, bem como, o descarte correto a fim de melhorar as características do pavimento, como a melhoria da resistência à fadiga e a deformação permanente no pavimento. Dessa forma a utilização deste resíduo em misturas asfálticas promove o destino correto, bem como, o aumento da capacidade da mistura a suportar esforço provenientes da solicitação do tráfego.

Para realização do trabalho, foram moldados 24 CP's (corpos-de-prova), dos quais 18 CP's destinados aos ensaios para determinação ótima de ligante. Os restantes (6 CP's) foram divididos em dois grupos de 3 CP's cada, sendo um grupo contendo 1% de EVA em peso de agregado na mistura e o outro sendo a mistura convencional para controle e comparação de resultados, os quais foram submetidos aos ensaios de Módulo de Resiliência (MR) e de Resistência à Tração (RT).

Sendo assim, o emprego deste rejeito na pavimentação causará um impacto positivo ao meio ambiente, sendo em sua maioria descartados incorretamente e em relação às misturas asfálticas aumentará seu desempenho elástico.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A obtenção de misturas asfálticas consistentes e com boa coesão, depende dentre outros fatores, das características dos agregados e do ligante utilizado.

2.1 CARACERIZAÇÃO DOS MATERIAIS PÉTREOS

2.1.1 Caracterização do Agregado Graúdo – Índice de Forma

Em primeiro momento, os agregados graúdos são caracterizados quanto ao índice de forma pelo método do paquímetro e do crivo redutor (Figura 1), procedimento de ensaio normatizado pela NBR 6954/1989 e DNER-ME 086/94.



Figura 1: Peneiras com crivos de abertura circular Fonte: Os autores (2015).

2.1.2 Massa Específica dos Agregados Graúdos e Densidade Real dos Agregados Miúdos

Determina a absorção e a massa específica nas condições seca e saturada do agregado graúdo e a densidade real de agregado miúdo. A determinação dos índices físicos como massa específica real, aparente e efetiva, assim como a absorção, são de suma importância para o processo de dosagem do ligante betuminoso na mistura asfáltica. Para o ensaio de absorção de água em agregados graúdos segue-se a norma DNER-ME 195/97 e para a densidade real dos agregados miúdos a DNER-ME 094/95 (método do picnômetro).

2.1.3 Resistência à Abrasão pelo Método Los Angeles

Este ensaio determina o desgaste que certa quantidade de material sofre após submetê-los a choques e desgastes. O efeito é intensificado pela presença de doze bolas de aço dentro do aparelho em que o material é ensaiado. Este ensaio é regido pela norma DNER-ME 035/98.

2.1.4 Adesividade do Agregado Graúdo

Esse método fixa o modo pelo qual se verifica a adesividade de agregado graúdo a ligante betuminoso. O ensaio realizado é capaz de definir se o agregado graúdo definido para a composição do revestimento asfáltico foi escolhido adequadamente, sendo capaz de resistir às intempéries e ações do tráfego que o pavimento estará sujeito, fato esse que justifica a sua realização. O ensaio de adesividade é regido pela norma DNER-ME 078/94 Agregado graúdo – adesividade a ligante betuminoso.

2.2 CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL BETUMINOSO

2.2.1 Viscosidade

Determina a viscosidade expressa em segundos de uma amostra de 60 ml fluindo através de um orifício Saybolt-Furol numa determina temperatura. A viscosidade indireta de um CAP tem como aplicação direta a classificação desse ligante em uma categoria estabelecida por norma DNER-ME 004/94.

2.2.2 Penetração

O ensaio de penetração consiste em determinar a medida em décimos de milímetros que uma agulha padrão penetra na amostra de ligante sob condições determinadas pela DNIT 155/2010-ME. É utilizada uma amostra de 100g por um tempo de 5s a uma temperatura controlada de 25 °C.

2.2.3 Ponto de Fulgor

Verificação experimental do Ponto de Fulgor e de Combustão de betuminosos, em vaso aberto de Cleveland conforme norma vigente NBR 11341/2014. Este ensaio determina a temperatura na qual os materiais betuminosos usados em pavimentação asfáltica entram em combustão, a fim de se garantir a segurança dos trabalhadores da obra.

2.2.4 Ponto de Amolecimento (Método Anel e Bola)

O ensaio refere-se à determinação do ponto de amolecimento, o que é um indicativo do comportamento do asfalto à receptibilidade térmica.

Os materiais derivados do petróleo estão sujeitos a susceptibilidade térmica, ou seja, quanto maior for a sua temperatura, mais eles se deformarão, caracterizando uma maior viscosidade. No ponto de vista prático, é necessário definir-se uma temperatura adequada para aperfeiçoar a sua função, que é de envolver os agregados no revestimento do pavimento.

O ponto de amolecimento do cimento asfáltico de petróleo pode ser definido como a temperatura em que o material se torna fluido.

2.3 DETERMINAÇÃO DO TEOR ÓTIMO DE LIGANTE

2.3.1 Dosagem Marshall

A dosagem Marshall busca moldar corpos de prova com a mesma granulometria, porém com teores de ligantes variáveis. Após a confecção e o tempo de repouso adequado, o CP é rompido por uma prensa especial e se extrai a carga do rompimento e a sua fluência (deformação). Deve obter também a sua densidade, volume de vazios e a relação betume vazio. Os valores devem ser comparados e obedecer a faixas pré-definidas para se encontrar o teor ótimo de betume. O experimento é normatizado pelo DNER-ME 043/95: Misturas betuminosas à quente — ensaio Marshall.

2.4 DETERMINAÇÃO DO MÓDULO DE RESILIÊNCIA

2.4.1 Ensaio do Módulo de Resiliência

O módulo de resiliência (MR) de misturas betuminosas é a relação entre a tensão de tração (ot), aplicada repetidamente no plano diametral vertical de uma amostra cilíndrica de mistura betuminosa (Figura 2) e a deformação específica recuperável (ɛt) correspondente à tensão aplicada, numa dada temperatura (T). O experimento (Figura 3) é normatizado pelo DNER-ME 133-94: Misturas betuminosas – Determinação do módulo de resiliência.





ISBN 978-85-459-0773-2

Foram utilizados os descartes de retalhos de palmilhas (Figura 4) compostas por EVA, de uma indústria calçadista da cidade de Paiçandu/PR. Retirando o tecido colado em sua superfície e cortados em cubos (Figura 5) de tal modo que passasse na peneira n°4 (4,76 mm) e retido na peneira n°10 (2,00 mm). Este material substitui 1% da massa de agregado de mesma malha que do resíduo cortado.



Figura 2: Corpo de prova moldado com EVA **Fonte**: Os autores (2015).

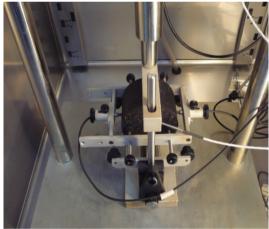


Figura 3: Ensaio Módulo de Resiliência Fonte: Os autores (2015).



Figura 4: Retalhos de palmilhas **Fonte**: Os autores (2015).





ISBN 978-85-459-0773-2



Figura 5: Mistura do EVA em cubos com a mistura asfáltica **Fonte**: Os autores (2015).

2.5 DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO

2.5.1 Ensaio de Resistência à Tração

O presente ensaio determina a resistência à tração que o CP terá após a aplicação de uma carga por compressão diametral (Figura 6), desta forma, assume-se comportamento unicamente elástico durante o ensaio e a ruptura do corpo-de-prova ao longo do diâmetro solicitado sendo devida unicamente às tensões uniformes geradas.

O experimento é normatizado pelo DNIT 136/2010-ME: Pavimentação asfáltica – Misturas asfálticas – Determinação da resistência à tração por compressão diametral – Método de ensaio.



Figura 6: Equipamento utilizado para o ensaio de resistência à tração **Fonte**: Os autores (2015).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta os resultados referente aos ensaios de determinação do índice de forma do agregado.

Tabela 1: Ensaio de índice de forma

Amostra	Índice de forma	Índice de forma médio
Amostra 1	0,82	
Amostra 2	0,83	0,83
Amostra 3	0,85	

Fonte: Os autores (2015).







ISBN 978-85-459-0773-2

O índice de forma (f) encontrado de 0,83 encontra-se acima do mínimo aceitável, que é f≥0,5. Conclui-se que o agregado graúdo ensaiado pode ser usado em pavimentos flexíveis na composição do revestimento ou das camadas inferiores. Devido a sua forma predominante cúbica com poucas partículas lamelares, a trabalhabilidade e resistência ao cisalhamento das misturas asfálticas, assim como a energia de compactação, sofre uma influência positiva.

Para os ensaios de massa específica e absorção do agregado graúdo (Tabela 2) e densidade real do agregado miúdo (Tabela 3), as médias dos valores encontrados para a massa específica dos agregados graúdos para a condição seca é de 2,998 g/cm³, já para a condição saturada superfície seca é de 2,696 g/cm³, a absorção média para estes agregados será de 3,7 %. O resultado de densidade real média encontrado para os materiais miúdos é de 2,964 g/cm³.

Estes resultados estão adequados para a utilização em misturas asfálticas densas. Conclui-se que é de suma importância a determinação dos índices de massa específica real, aparente e efetiva dos agregados, pois há influência direta na dosagem de ligante betuminoso na constituição do revestimento.

Tabela 2 - Massa específica e Absorção (agregado graúdo)

Amostra	Massa Específica (seca) [g/cm³]	Massa Específica (saturada superfície seca) [g/cm³]	Absorção (%)
Amostra 1	2,998	2,693	3,78
Amostra 2	2,998	2,695	3,739
Amostra 3	2,999	2,698	3,717

Fonte: Os autores (2015).

Tabela 3: Densidade real (agregado miúdo)

Amostra	Densidade real [g/cm³]
Amostra 1	3,021
Amostra 2	2,965
Amostra 3	2,964

Fonte: Os autores (2015).

O ensaio de desgaste Los Angeles, considera a composição minerológica do material em análise, sendo que, para o caso em estudo, o agregado tem origem basáltica. O resultado de Abrasão Los Angeles médio de 28,47% (Tabela 4), considera-se satisfatório, segundo a norma.

Tabela 4: Ensaio abrasão Los Angeles

Amostra	Abrasão Los Angeles (%)	Abrasão Los Angeles Médio (%)
Amostra 1	28,16	
Amostra 2	28,86	28,47
Amostra 3	28,59	

Fonte: Os autores (2015).

Com relação ao ensaio de adesividade, os resultados obtidos demonstraram boa aderência entre agregado-ligante, não sendo observada nenhuma área descoberta ao final do ensaio. Sendo assim, o cobrimento ficou acima de 90% conforme exige a norma de referência.

No que se refere aos ensaios no material betuminoso, os resultados para o ensaio de viscosidade são apresentados na e pela curva representada pelo gráfico da Figura 7.





ISBN 978-85-459-0773-2

Tabela 5: Resultados para o ensaio de viscosidade

Temperatura (°C)	Viscosidade (sSF)	Log	
112	318	2,502	
121	171	2,233	
127	113	2,053	
142	72	1,857	
146	61	1,785	
156	45	1,653	
168	31	1,491	
180	25	1,398	

Fonte: Os autores (2015).

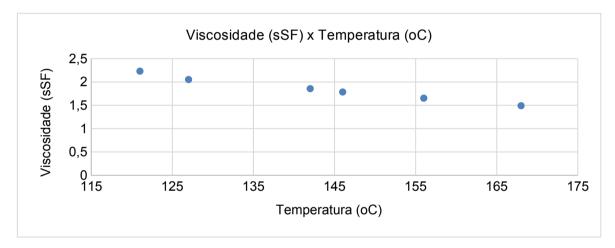


Figura 7 - Gráfico Log Viscosidade (sSF) x Temperatura Fonte: Os autores (2015).

Para o ensaio de penetração, pode-se caracterizar o ligante como CAP (cimento asfáltico de petróleo) do tipo 50/70, uma vez que a média dos valores de penetração foi de 65 (.).

Tabela 6: Resultados do ensaio de penetração

Penetração (0,1 mm)				
Penetração 01	64			
Penetração 02	66	65		
Penetração 03	66			

Fonte: Os autores (2015).

Por meio do ensaio de ponto de fulgor, pode-se identificar valores acima de 300°C, sendo assim, o material betuminoso está dentro dos valores exigidos pela norma, uma vez que a temperatura de trabalho é inferior a 300°C.

Os resultados obtidos no ensaio de ponto de amolecimento estão representados. A temperatura em que as bolas metálicas romperam o anel e tocaram a chapa metálica foi de 53,7 °C para ambos os conjuntos, com diferença menor que 1 °C, resultando em um ensaio representativo.





ISBN 978-85-459-0773-2

Tabela 7: Resultados do ensaio de ponto de amolecimento

Ponto de Amolecime	ento	
Ponto de Amolecimento 01	53,5	
Ponto de Amolecimento 02	54,5	53,7
Ponto de Amolecimento 03	53	55,7
Ponto de Amolecimento 04	54	

Fonte: Os autores (2015).

Por meio da dosagem Marshall, tornou-se possível a dosagem ótima do ligante de acordo com os valores de referência da norma, resultando em 5,6% de ligante na mistura (Tabela 8). Devese ressaltar que os corpos de prova resistiram a cargas bastante elevadas, assim sendo justificado o parâmetro da fluência. As temperaturas de trabalho recomendadas para compactação da mistura, do CAP e dos agregados estão apresentadas na Tabela 9.

Tabela 8: Resultados do ensaio Marshall

Tubbia C.	r tooditadoo ac	Densidede					
Corpo-de-	Teor de	Densidade	Densidade	\\\\\(\(10/\)	\/b (0/)	\/AN# (0/ \	DDV (0/)
prova	ligante (%)	Aparente	Teórica	Vv (%)	Vb (%)	VAM (%)	RBV (%)
		(g/cm3)	(g/cm3)				
1	4,6	2,447					
2	4,6	2,464	2,629	7,14	11,01	18,15	69,65
3	4,6	2,435					
4	4,8	2,436					
5	4,8	2,456	2,62	6,18	11,57	17,75	65,17
6	48	2,461					
7	5	2,464					
8	5	2,46	2,612	5,73	12,07	17,8	67,8
9	5	2,449					
10	5,2	2,474					
11	5,2	2,481	2,603	5,09	12,6	17,68	71,24
12	5,2	2,267					
13	5,4	2,475					
14	5,4	2,501	2,595	4,4	13,13	17,53	74,91
15	5,4	2,485					
16	5,6	2,457					
17	5,6	2,441	2,586	5,32	13,44	18,76	71,68
18	5,6	2,412					

Fonte: Os autores (2015).

Tabela 9: Temperaturas recomendadas (Compactação, CAP e Agregados)

Temperatura (°C)				
Compactação	123,3			
CAP	137,6			
Agregados	150,6			

Fonte: Os autores (2015).





ISBN 978-85-459-0773-2

Com os resultados dos ensaios de MR (módulo de resiliência), foram realizadas as médias dos valores obtidos, gerando o gráfico Módulo de Resiliência x Tempo de Aplicação de Carga (Figura 8), com carregamentos de 400 N (a), 1000 N (b) e 1300 N (c).

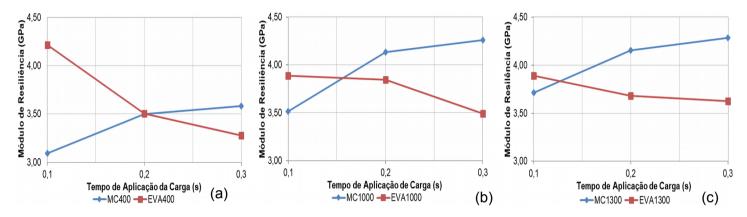


Figura 8 - Gráficos resultantes do ensaio de Módulo de Resiliência Fonte: Os autores (2015).

Na Figura 8(c), pode-se observar a diminuição do MR com o aumento de tempo de aplicação de carga em misturas modificadas com EVA. Já para os CP's sem a presença do polímero o MR aumenta quanto maior o tempo de aplicação da carga. Outra análise a ser feita é que com o aumento das cargas as misturas tendem a ter o mesmo módulo quanto mais rápido for seu carregamento.

Após a realização do ensaio de MR, os corpos-de-prova foram rompidos pelo ensaio de resistência à tração (RT), apresentando como resultado RT superior nas misturas de controle (cerca de 16%), quando comparada aos CP's com EVA (Figura 9).

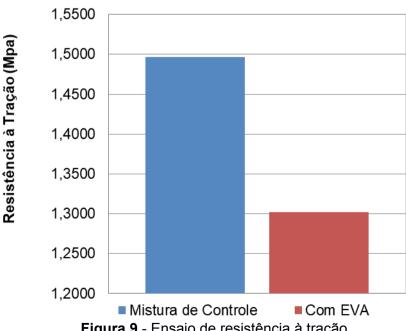


Figura 9 - Ensaio de resistência à tração Fonte: Os autores (2015).





ISBN 978-85-459-0773-2

4 CONCLUSÃO

O emprego de EVA em substituição parcial do agregado em misturas asfálticas é viável, sendo a sua efetividade relacionada à estrutura do pavimento e ao tipo de solicitação de tráfego a qual será submetida. A diferença entre as resistências à tração para as misturas modificadas com EVA e de controle foi pequena (cerca de 16%) e ambas superiores à mínima necessária (0,65 Mpa) para resistência satisfatória às solicitações de tráfego padrão.

Com relação à rigidez, as misturas modificadas com EVA apresentam menor módulo de resiliência, com relação ao aumento do tempo de aplicação de carga. O oposto ocorreu com a mistura de controle, a qual apresentou ganho no módulo de resiliência com o aumento do tempo de carregamento.

A mistura de controle apresentou maior módulo de resiliência quando submetida a cargas de maior intensidade e tempo de carregamento baixo. Para tempos de carregamento mais elevados, não houve mudança devido ao aumento de intensidade das cargas. O aumento da intensidade do carregamento apresentou baixa influência na resposta de módulo de resiliência das misturas modificadas com EVA.

Dessa forma, a mistura modificada se mostrou menos flexível em relação à de controle para carregamentos rápidos e mais flexível para carregamentos mais lentos, independente da intensidade da carga aplicada.

REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 11341 – Derivados de petróleo – Determinação dos pontos de fulgor e de combustão em vaso aberto Cleveland. Rio de Janeiro, 2014.

BERNUCCI, L. B; MOTTA, L. M. G; CERATTI, J. A. P; SOARES, J. B. **Pavimentação asfáltica:** formação básica para engenheiros. Rio de Janeiro: PETROBRAS: ABEDA, 2006.

BRÛLÉ, B. Polymer-modified asphalt cements used in the road construction industry: basic principles. Transportation Research Record, n. 1535. p. 48-53, 1996.

CNT – CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. **Pesquisa Rodoviária 2014.** Disponível em www.cnt.org.br, junho, 2015.

Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (DNIT). DNER-ME 004 – Material Betuminoso – determinação da viscosidade Saybolt-Furol. Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1994.

______. DNER-ME 043 – Misturas betuminosas a quente – ensaio Marshall. Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1995.

______. DNER-ME 078 – Agregado graúdo – Adesividade a ligante betuminoso. Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1995.

_____. **DNER-ME 084** –Agregado miúdo – determinação da densidade real. Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1995.







ISBN 978-85-459-0773-2