

III-343 - UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE BORRACHA DE PNEUS DE RECAUCHUTAGEM NA COMPOSIÇÃO DE ASFALTO

Luzilene Souza Silva⁽¹⁾

Mestranda do Curso de Engenharia dos Materiais no Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA).

Rafael da Silva Pereira⁽²⁾

Engenheiro Civil pela Faci Devry Brasil.

Leonardo Araújo Neves⁽³⁾

Professor Mestre da Faculdade Estácio de Belém.

Endereço⁽¹⁾: Tv. 03 de maio, Nazaré , Belém-PA - CEP: 66063-388 Brasil - Tel: (91) 98244-8873 - e-mail: eng.luzilene@gmail.com

RESUMO

A invenção do pneu transformou a movimentação de cargas e pessoas. Contudo, após o término de sua vida útil, ele se torna um passivo ambiental de difícil disposição final pela demora em se decompor e seu grande volume, constituindo desafio de logística reversa. Com o intuito de dar uma destinação adequada aos pneus inservíveis, pesquisas vêm sendo realizadas focando o reaproveitamento deste material para a produção de novos produtos. O objetivo deste trabalho foi propor por meio de uma pesquisa qualitativa e quantitativa, um estudo sobre viabilidade da produção de asfalto com borracha triturada, esclarecer seu papel, mostrando com dados às especificações técnicas da introdução desse material misturado com os outros componentes do asfalto. Para tanto foi realizada uma pesquisa bibliográfica para aprofundamento dos conhecimentos sobre o tema e posteriormente foi executado um experimento laboratorial, no qual foi produzida uma amostra de asfalto com composição de borracha de pneus triturados. Os corpos de prova foram moldados com teores de CAP variando de 4,5; 5,0; 5,5; 6,0; e 6,5%, tendo-se moldado três unidades para cada teor e adotado a média aritmética para a construção dos gráficos conforme DNER-ME 043/95. Os procedimentos para moldagem dos corpos de prova, cura, rompimento e o teor ótimo do ligante e das características físicas da mistura foram elaboradas de acordo com as normas vigentes estabelecidas pelo DNER – ME 043/95 e DNIT 031 – ES 2006. Após o preparo da amostra foram realizados os ensaios de densidade real, densidade solta, granulometria por peneiramento e equivalente de areia. Os resultados obtidos satisfazem o que estabelece as especificações para Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ), demonstrando que este material possui grandes vantagens em sua utilização para camada de rolamento.

PALAVRAS-CHAVE: Borracha de Pneus, Asfalto Borracha, Pneus Triturados.

1 INTRODUÇÃO

A invenção do pneu transformou a movimentação de cargas e pessoas. A grande maioria dos meios de transporte utiliza essa invenção. Contudo, após o término de sua vida útil, ele se torna um passivo ambiental de difícil disposição final pela demora em se decompor e seu grande volume, constituindo desafio de logística reversa.

O pneu é um dos produtos de maior consumo no mundo e um dos resíduos de mais difícil decomposição na natureza. Quando se tornam inservíveis são colocados em aterros onde podem permanecer por mais de 500 anos. Isto constitui um problema de engenharia. Neste contexto, a reciclagem surge como instrumento promotor do bem estar ecológico e social (PNEWS, 2002).

Segundo a ANIP (Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos), no ano de 2014 foram produzidos 68,7 milhões de novos pneus no Brasil, e em torno de 35 milhões foram descartados. Isso significa que 50,94% da produção não têm mais utilidade dentro de um ano. Então, pode-se deduzir que além de ter espaço para os novos pneus, precisa-se de pelo menos, a metade dessa área para armazenar os que são descartados, já que, de acordo com a Resolução nº 258 da CONAMA, as empresas que produzem são as responsáveis por dar um destino final ao montante inservível.

Todo pneu, em algum momento, se transformará em um resíduo potencialmente danoso à saúde pública e ao meio ambiente. Para evitar este problema, uma solução à sua destinação final deverá ser adotada (BERTOLLO, *et. al.*, 2000).

O reaproveitamento de pneus inservíveis se constitui em todo o mundo em um desafio muito difícil, dadas as suas peculiaridades de durabilidade (em torno de 600 anos), quantidade, volume e peso, principalmente a dificuldade em dar um destino ecologicamente correto e economicamente viável (MORELHA JR.; GRECA, 2003).

O Asfalto Borracha, de acordo com Silva (2007) não é uma tecnologia nova, já existe a cerca de 40 anos. Ela foi desenvolvida no estado do Arizona, por um técnico americano chamado Charles Mac'Dowell, que teve a patente registrada por 10 anos. Charles criou essa reciclagem que tritura os pneus até produzir a borracha granulada, sendo necessário a mistura para gerar um material novo. Na produção do Asfalto é utilizado um ligante, o CAP (Cimento Asfáltico de Petróleo) resíduo que sobra do petróleo da produção do combustível. O CAP não é quem resiste às cargas, ele é o ligante, quem resiste às cargas são as britas, é ele também que faz a ligação da borracha ao resto do material.

O Asfalto, assim como grande parte de todo material produzido no mundo, tem uma vida útil, baseado em estudos, os projetos são feitos para durar uma pré-determinada quantidade de anos, para ter a manutenção. Por exemplo, uma determinada rua é feita com asfalto convencional para durar 10 anos, isso com manutenções periódicas, adicionando borracha à composição desse asfalto, podemos ter vantagens como 40% a mais de vida útil, ou seja, ao invés de 10 passaria a 14 anos, além de maior flexibilidade, menor custo com a manutenção, mais resistência às intempéries, entre outras. Diante deste contexto formulou-se a seguinte pergunta: **qual a viabilidade técnica de produção de asfalto com borracha triturada?**

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho teve caráter de pesquisa aplicada, uma vez que objetivou gerar conhecimentos para aplicação prática e dirigidos à solução de problemas específicos. Quanto à forma de abordagem do problema é considerada como qualitativa e quantitativa. Envolve levantamento bibliográfico; entrevistas com pessoas que tiveram experiências práticas com o problema pesquisado; análise de exemplos que estimulem a compreensão. Assume, em geral, as formas de Pesquisas Bibliográficas e Estudos de Caso.

Este estudo está estruturado em duas etapas, primeiramente foi realizada uma pesquisa bibliográfica para que os principais conceitos dentro do tema proposto fossem definidos. Para isso foram utilizadas fontes de pesquisa como: Google acadêmico, portal CAPES, periódicos Qualis e Scielo. Através destas fontes foram selecionados, manuais, teses, artigos científicos e livros que possibilitaram a explanação do tema.

Na segunda etapa do trabalho foi realizado um experimento laboratorial, no qual foi produzida uma amostra de asfalto com composição de borracha de pneus triturados, os corpos de prova foram moldados com teores de Cap variando de 4,5; 5,0; 5,5; 6,0; e 6,5%, tendo-se moldado três unidades para cada teor e adotado a média aritmética para a construção dos gráficos conforme DNER-ME 043/95. Os procedimentos para moldagem dos corpos de prova, cura, rompimento e o teor ótimo do ligante e das características físicas da mistura foram elaboradas de acordo com as normas vigentes estabelecidas pelo DNER – ME 043/95 e DNIT – ES 2009. Após o preparo da amostra foram realizados os ensaios de densidade real, densidade solta, granulometria por peneiramento e equivalente de areia.

2.1 EXPERIMENTO LABORATORIAL

Esta etapa da presente pesquisa consistiu na elaboração de um experimento laboratorial, no qual foi dosado um traço para confecção de corpos de prova de Asfalto Borracha Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) Faixa “C” PROJETO DE NORMA DNIT – ES 2009. Os estudos foram desenvolvidos de acordo com os procedimentos apresentados nas metodologias de ensaios das normas, DNIT – ES 2009, DNER-ME 043/95, DNER-ME 054/97, DNER-ME 136/2010 e os resultados satisfazem o que estabelecem estas especificações para concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ).

Na Figura 1a é possível observar os corpos de prova confeccionados e na Figura 1b os resíduos de pneus triturados que foram utilizados.



Figura 1: Corpos de Prova (a) e Resíduos utilizados (b).

2.2 GRANULOMETRIA DOS AGREGADOS

As amostras foram recebidas no laboratório na Faculdade Faci Devry Brasil, já identificadas como seixo fino e pedrisco procedentes do município de Ourém, e a areia do Km 21.

Para a análise das características físicas dos agregados utilizados na mistura foi verificada a densidade solta, que relaciona a massa ao volume da amostra em estado solto, sem nenhum tipo de compressão, conforme descrito na Tabela 1, o que inclui espaços não preenchidos entre os grânulos. Também foi verificada a densidade real, que desconsidera o volume desses espaços vazios em seu cálculo.

Tabela 1: Características físicas dos agregados.

DENSIDADE REAL		DENSIDADE SOLTA	
Material	g/cm ³	Material	kg/m ³
Seixo Fino	2,620	Seixo Fino	1,480
Pedrisco	2,575	Pedrisco	1,400
Areia	2,610	Areia	1,510
Filler	3,100		
CAP			

O ensaio de granulometria foi realizado em procedimento de peneiração, em que são registradas as proporções de material retido em peneiras de diversas gradações. Foram observadas as determinações da Norma DNERME 083/98. Na Tabela 2 são mostrados os valores de granulometria obtidos para os componentes da mistura, e na Tabela 3, os valores obtidos para a mistura avaliada.

Tabela 2: Granulometria dos agregados.

GRANULOMETRIA DOS AGREGADOS			
Peneiras	Porcentagem Passando		
	Seixo Fino	Pó de brita	Areia
¾	100	100	100
½	86,5	100	100
⅓	69,8	100	100
4	32,1	95,0	100
10	9,6	77,0	98,6
40	2,9	45,0	78,6
80	1,2	26,0	23,1
200	0,6	14,0	4,5

Tabela 3: Granulometria da composição.

Peneiras	GRANULOMETRIA DA COMPOSIÇÃO		
	Porcentagem Passando		
	Mistura	Faixa de Trabalho	Faixa 'C'
¾	100	100	100
½	92,0	85 - 99	80 - 100
⅓	82,5	76 - 90	70 - 90
4	58,2	53 - 63	44 - 72
10	34,5	29 - 39	22 - 50
40	23,4	18 - 26	8 - 26
80	11,8	9 - 15	4 - 16
200	3,7	2 - 6	2 - 10

O ensaio de equivalente de areia consistiu em avaliar a suspensão de finos e o depósito de material grosseiro em uma proveta com a amostra avaliada em solução. A altura coluna de material depositado (leitura no topo de depositado) é dividida pela altura entre a base e o topo da coluna de finos (leitura no topo de finos), e o resultado é multiplicado por 100. O equivalente de areia da amostra avaliada correspondeu a 95,3%.

2.3 PORCENTAGENS ADOTADAS PARA A COMPOSIÇÃO DA MISTURA

Com base na análise granulométrica dos agregados, foi formulada a dosagem da mistura a ser estudada, sempre dentro dos limites estabelecidos na Norma do DNER. As proporções estão apresentadas na Tabela 4 o processo de pesagem dos elementos está ilustrado nas Figuras 2 e 3.

Tabela 4 - Porcentagens adotadas para a composição da mistura.

Componentes	(%)
Seixo Fino	65,0
Pedrisco	14,0
Areia	19,0
Filler	2,0



Figura 2 - Pesagem dos agregados



Figura 3 - Pesagem do Cap.

2.4 PROCEDIMENTOS PARA MOLDAGEM DOS CORPOS DE PROVA

Os corpos de provas foram moldados com teores de CAP de 4,5; 5,0; 5,5, 6,0 e 6,5, tendo-se preparado três amostras para cada dosagem e adotado a média aritmética para a construção dos gráficos conforme DNER-ME 043/95. Cada corpo de prova preparado pesava 1200 g, e a quantidade dos materiais empregados foi pesada para obter uma proporção definida no traço em relação a esse peso total. Os procedimentos para moldagem dos corpos de prova, cura, rompimento e o teor ótimo do ligante e das características físicas da mistura foram elaboradas de acordo com as normas vigentes.

O ligante (CAP) foi aquecido até 165°C como é ilustrado na Figura 4 e misturado aos agregados já nas quantidades a serem utilizadas para produção dos corpos-de-prova. As amostras foram levadas à compactação com soquete, estando a mistura na temperatura exigida em norma, e então tratadas com 75 golpes em cada uma de suas duas faces, para que a mistura acomodasse. Após a compactação, as amostras foram colocadas em repouso em câmara refrigerada até atingir a temperatura ambiente.



Figura 4 - Processo de aquecimento do Cap.

Quanto às condições para moldagem, cura e rompimento dos corpos de prova, na Tabela 5 pode-se observar cada uma delas.

Tabela 5: Condições para o preparo dos corpos de prova.

Temperatura de aquecimento dos agregados	175°C
Temperatura de aquecimento do CAP	165°C
Energia de compactação	75 golpes / face
Estabilidade Marshall	60°C x 30 min.
Tração Diametral	0,65 Mpa 25° C

As características do traço definido estão destacadas na Tabela 6, e as condições para produção e compressão estão na Tabela 7. A Figura 5 demonstra a composição do traço de asfalto borracha.

Tabela 6: Características do traço definido.

Discriminação	Encontrado	Especificação
Densidade Teórica da mistura	2.394	
Densidade Aparente da mistura (g/cm ³)	2.302	
Porcentagem de vazios (%)	3,9	3 – 5
Relação de betume e vazios (%)	77,0	75 – 82
Estabilidade Marshall (kgf)	902	> 800
Tração diametral (Mpa)	0,71	0,65
Teor de CAP (%)	5,7	4,5 – 9,0

Tabela 7: Condições para produção e compressão.

Temperatura de aquecimento dos agregados	175°C
Temperatura do aquecimento do CAP	165°C
Porcentagem do Seixo fino	61,3
Porcentagem do Pedrisco	13,2
Porcentagem da Areia	17,9
Porcentagem do Filler	1,9
Porcentagem do CAP	5,7

COMPOSIÇÃO DO TRAÇO DE ASFALTO BORRACHA

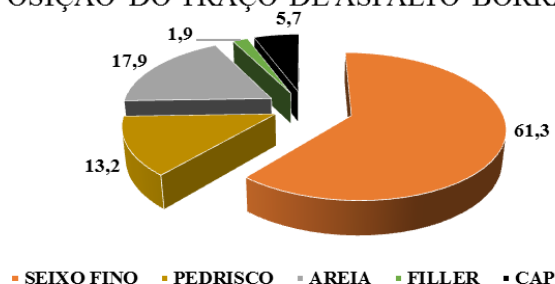


Figura 5: Composição do traço de asfalto de borracha.

3 RESULTADOS OBTIDOS

3.1 ENSAIO DE ESTABILIDADE MARSHALL

Dois dos corpos de prova foram imersos em banho-maria a 60 °C, durante 30 minutos. Depois, foram imediatamente submetidos à compressão sob prensa em velocidade de 5 cm por minuto, até o ponto de ruptura. A carga em N (kgf) que produziu o rompimento foi anotada como a estabilidade lida e corrigida em função da espessura do corpo de prova. Os valores obtidos para cada teor estão apresentados na Figura 6.

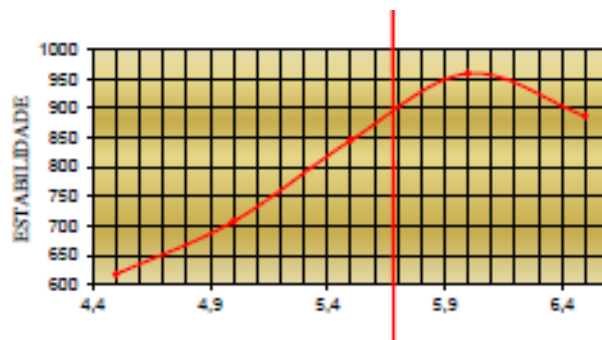


Figura 6: Comportamento das amostras no Ensaio Marshall para cada teor.

3.2 COMPRESSÃO DIAMETRAL

O ensaio foi feito mediante aplicação de carga de progressão diametral de maneira progressiva sobre o corpo de prova até sua ruptura, simulando o ponto de ruptura sob carga de compressão paralela em campo. Os valores obtidos para cada teor estão apresentados na Figura 7.

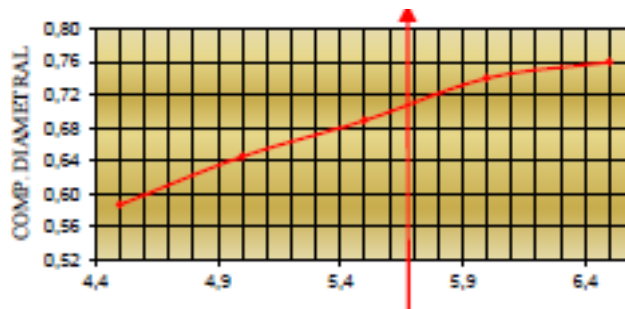


Figura 7: Comportamento das amostras no Ensaio de Compressão Diametral para cada teor.

3.3 OUTROS ASPECTOS VERIFICADOS

Com base nas análises descritas, foram obtidas representações gráficas de outros aspectos importantes para o desempenho funcional da mistura investigada. As Figuras 8 a 10 apresentam os valores obtidos para a Porcentagem de Vazios (espaços entre grânulos), a Relação Betume-Vazios (RBV), e para a Densidade Aparente, respectivamente.

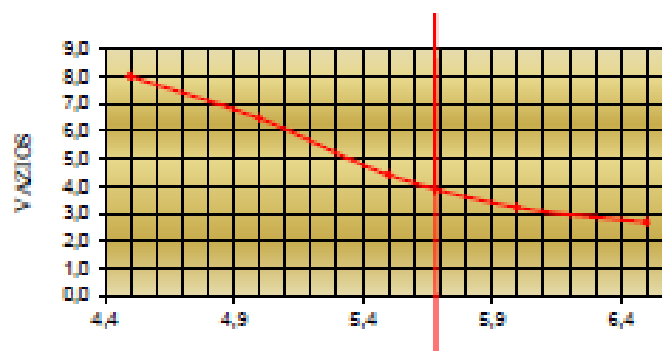


Figura 8: Valores de Vazios para cada teor.

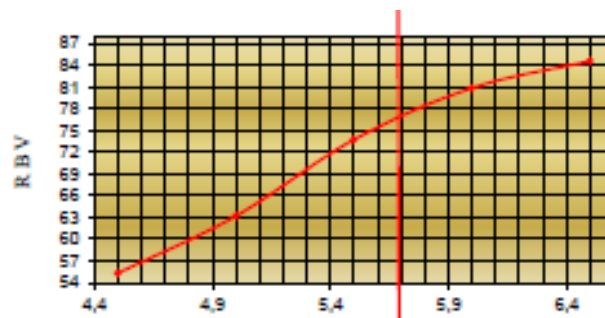


Figura 9: Valores de Vazios para cada teor.

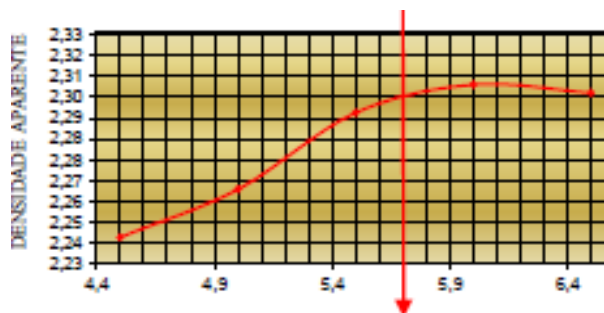


Figura 10: Valores de Vazios para cada teor.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

O valor médio obtido para a Resistência a Tração por Compressão Diametral para os teores da mistura analisada neste trabalho foi de 0,71 Mpa. O valor exigido na Norma DNIT 031/2006 – ES é de 0,65 Mpa. Portanto, o parâmetro mínimo normativo foi atingido. O valor médio obtido da Estabilidade dos teores analisados foi de 902 kgf, satisfazendo o mínimo determinado na Norma DNIT 031/2006 – ES, 800 kgf.

O valor médio de Porcentagem de Vazios dos teores investigados foi de 3,9%, dentro do intervalo limitado pela Norma DNIT 031/2006 – ES de 500, que é de 3 a 5% para camada de rolamento. O valor médio obtido para a Relação Betume/Vazios (RBV) foi de 77%, dentro do intervalo de 75-82% exigido para camada de rolamento na Norma DNIT 031/2006 – ES.

A Tabela 8 apresenta os valores mínimos exigidos pela Norma DNIT 031/2006 – ES, indicando a norma que disciplina o procedimento para determinação desses valores em misturas asfálticas.

Tabela 8 - Requisitos mínimos da Norma DNIT 031/2006 – ES.

Características	Método de ensaio	Camada de Rolamento	Camada de Ligação (Binder)
Porcentagem de vazios, %	DNER-ME 043	3 a 5	4 a 6
Relação betume/vazios	DNER-ME 043	75 – 82	65 – 72
Estabilidade, mínima, (Kgf) (75 golpes)	DNER-ME 043	500	500
Resistência à Tração por Compressão Diametral estática a 25°C, mínima, MPa	DNER-ME 138	0,65	0,65

Fonte: DNIT (2006).

5 CONCLUSÕES

O grande aumento do número de pneus inservíveis tem se mostrado um problema para a logística reversa, devido ao seu grande volume e elevado tempo de decomposição na natureza. Uma das alternativas criadas para o reaproveitamento deste material que têm tido amplo campo de pesquisa é a fabricação de asfalto com inserção de borracha de pneus de recauchutagem. Devido às propriedades da borracha, o seu uso é indicado para a fabricação de novos compósitos, pois atribui qualidades ao novo material, proporcionando melhorias em aspectos como resistência e durabilidade.

O presente trabalho teve por objetivo propor por meio de uma pesquisa qualitativa e quantitativa, a produção de um asfalto com a inserção de resíduos de borracha de pneus triturados. Foi executado um experimento laboratorial, no qual foram produzidas amostras de asfalto com incorporação destes resíduos e moldados corpos de prova com teores de Cap variando de 4,5; 5,0; 5,5; 6,0; e 6,5%.

Os resultados dos ensaios de densidade real, densidade solta, granulometria por peneiramento e equivalente de areia indicaram que o asfalto produzido satisfaz o que estabelece as especificações para Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ), demonstrando que este material possui grandes vantagens em sua utilização para camada de rolamento.

Os valores obtidos para as características do traço elaborado, bem como para seu desempenho, revelam que é possível atingir os parâmetros fixados nas normas competentes empregando uma mistura para pavimentação asfáltica com composição alternativa, que inclua entre os agregados o resíduo de borracha de pneu. Os benefícios sociais, econômicos e ambientais residem na possibilidade de dar uma destinação aos pneus inservíveis, um material de difícil estocagem por seu volume, que constitui um desafio à engenharia de logística reversa, e que traz sérios riscos ao meio ambiente, causando degradação pela lenta decomposição e pela facilidade com que entra em combustão, e à sociedade, podendo servir para a multiplicação de vetores de doenças tropicais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASTM – American Society for Testing and Materials (1997) *D 6114 – Standard Specification for Asphalt-Rubber Binder*.
2. ANIP - Associação Nacional de Indústrias de Pneumáticos. Disponível em: <<http://www.anip.com.br/>>. Acesso em: 17 de out. 2016.
3. BERTOLLO, S. A. M.; FERNANDEZ JR., J.L.; VILLAVERDE, R.B.; MIGOTTO FILHO, D. (2000). **Pavimentação Asfáltica**: uma alternativa para reutilização de pneus usados. Revista Limpeza Publica, n. 54. Associação Brasileira de Limpeza Publica – ABLP, p. 23-30, jan.
4. DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (1997) *ES 313 – Pavimentação - Concreto Betuminoso*.
5. BRASIL. DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 031 - ES**: Pavimentos flexíveis - Concreto asfáltico. Especificação de Serviço. Rio de Janeiro: DNIT, 2006b.
6. BRASIL. DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER-ME 043**: Misturas betuminosas a quente - ensaio Marshall. Método de Ensaio. Rio de Janeiro: DNER, 1995.
7. MORILHA JR., GRECA, M. R. **Considerações Relacionadas ao Asfalto Ecológico – Ecofléx**. IEP (2003), Apostila sobre Asfalto Borracha, Instituto de Engenharia do Paraná, 12 p. Disponível em: www.iep.org.br/lit/_apostila_asfalto_borracha.doc. Acesso em 19 set 2014.