

Utilização de resíduos de borracha de recauchutagem de pneus na composição de asfalto

Luzilene Souza Silva¹, Franci Rose Nascimento¹, Marlos Henrique Pires Nogueira¹, Gleisy Kelly Moreira Lima¹, Demetrius Clemente da Rocha Sobrinho¹

¹Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais - Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA) - Belém - PA- Brasil

eng.luzilene@gmail.com, rosenascimento.fncn@gmail.com,
paulistta2000@yahoo.com.br, gleisy.fotog@hotmail.com,
demetriusrocha@hotmail.co.uk

Resumo. 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 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 (1995). 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 (1995) e DNIT-ES 031 (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.

Abstract. With the aim to give it a final destination, research has been made focusing on the reuse of this material in the manufacture of new products. The objective of this work is to suggest, by means of a qualitative and quantitative research, the production of an asphalt with the insertion of rubber residue from shredded tires. Was made an experiment in laboratory was performed in which a sample of asphalt with rubber addition. The samples were produced with the proportion of 4.5, 5.0, 5.5, 6.0, and 6.5% of Petroleum Asphalt Cement, three sample for each trace with the arithmetic average being used for the elaboration of DNER-ME 043 (1995) graphs. The procedure for the samples molding, curing, rupture, and max-performing trace for the binder, and the physical characteristics of the mix were devised in accordance with regulation both in DNER-ME 043 (1995) and DNIT-ES 031 (2006). The set of samples were then tested for real density, apparent density, granulometrics, and sand equivalent. The results are in accordance with the specifications for Heat Machining Asphalt Concrete, revealing the important benefits in the use of this material in road paving.

Keywords: Tire rubber. Rubber asphalt. Tires Shredded.



1. Introdução

A invenção do pneu transformou a maioria dos meios de transportes quanto à agilidade na movimentação de pessoas e bens. 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 ambiental. Neste contexto, a reciclagem surge como instrumento promotor do bem estar ecológico e social (SPECHT *et al*, 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 (MORILHA JUNIOR e GRECA, 2003).

Segundo banco de dados do ANIP, em março de 2016 a frota brasileira era composta por 90.392.168 veículos licenciados, com suas identificações extraídas do CRV-Certificado de Registro do Veículo. Devido a essa demanda o uso de pneus torna-se cada vez mais intensivo e com isso, gera-se o problema da falta de logística reversa. O reaproveitamento dos pneus poderia contribuir para solucionar problemas relacionados a sua disposição irregular, que causa danos ao meio ambiente e a saúde da população, por meio da proliferação de vetores de doenças, enchentes das vias urbanas e contaminação do lençol freático.

Para Pinheiro (2004), a malha rodoviária brasileira constitui a principal via de circulação de bens e pessoas do país. Dentre os 1.670.000 km de estradas existentes, apenas 8% são pavimentadas. A grande maioria das rodovias pavimentadas no Brasil é de recobrimento asfáltico.

No intuito de melhorar as propriedades mecânicas das misturas asfálticas, bem como reduzir o passivo ambiental causado pela crescente deposição inadequada de pneumáticos na natureza, muitos países vêm desenvolvendo tecnologia para a incorporação de borracha moída de pneu, BMP, em revestimentos asfálticos. Dentre esses países pode-se citar Estados Unidos, França, Alemanha, Brasil, dentre outros. Os diversos estudos sobre esta adição vêm apontando inúmeros benefícios à mistura, dentre os quais podem ser citados a redução do envelhecimento, o aumento da flexibilidade, a redução de deformações permanentes, a melhoria da susceptibilidade térmica, a redução do ruído, o aumento da vida de fadiga, a redução da aquaplanagem durante as chuvas, a



melhor aderência pneu-pavimento, o melhoramento da aderência entre ligante-agregado, dentre outros (KEITZMAN, 1992; BILLITER, 1997; GREEN, 1998; LEITE, 1999; GALLEGO *et al*, 2000; FAXINA, 2002; SPECHT *et al*, 2002; PINHEIRO, 2004).

O asfalto borracha, de acordo com Silva (2007), não é uma tecnologia nova, tendo sido 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 efetuar 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, sendo o ligante, não apresenta características de resistibilidade, quem resiste às cargas são as britas. A função do CAP consiste em promover a aglutinação da borracha aos demais materiais componentes do asfalto.

Há cerca de trinta anos foi verificado que a adição de polímeros ao asfalto melhora suas propriedades. Por isso, vem ganhando importância a utilização de asfaltos modificados por borrachas. Existem muitas razões para a substituição do asfalto tradicional pelo asfalto modificado. Dentre elas estão: uso em rodovias com alto volume de tráfego; resistência à formação de trilhas de rodas, ao envelhecimento e à oxidação; aumento da elasticidade; redução de custos de manutenção (SPECHT *et al*, 2002).

Vários estudos estão voltados ao reaproveitamento da borracha de pneu para a criação de novos compósitos, dentro deste campo de pesquisa, as que mais se destacam estão relacionadas à criação de um asfalto com composição de borracha triturada, que possa ser utilizado em camadas de rolamento de vias urbanas, propiciando a pavimentação ou recuperação de estradas com problemas de conservação. Esta pesquisa tem o intuito de mostrar de que modo isto pode ser feito, para que se transforme em uma solução viável para a produção sustentável do asfalto borracha. O presente trabalho mostra resultados obtidos através de uma análise laboratorial, na qual, foi produzida uma amostra de asfalto com inserção de resíduos de pneus de recauchutagem a fim de demonstrar a aplicabilidade deste asfalto em vias urbanas, e assim, gerar uma reciclagem de pneus que pode ser revertida em ganhos econômicos, ambientais, sociais e acadêmicos.

O asfalto, assim como grande parte de todo material produzido no mundo, tem uma vida útil pré-estabelecida a qual os projetistas se baseiam para elaborarem os projetos estruturais e determinarem o intervalo necessário para as intervenções de manutenções da via. Segundo estudos nessa área, a adição de borracha à composição do asfalto pode trazer vantagens como: o aumento da vida útil em até 40%, maior flexibilidade, menor custo com a manutenção, maior resistência a 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

Este trabalho foi realizado a partir de ensaios experimentais em cinco amostras 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 (1995). 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

(1995) 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 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 (1995), DNER-ME 054 (1997), 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.

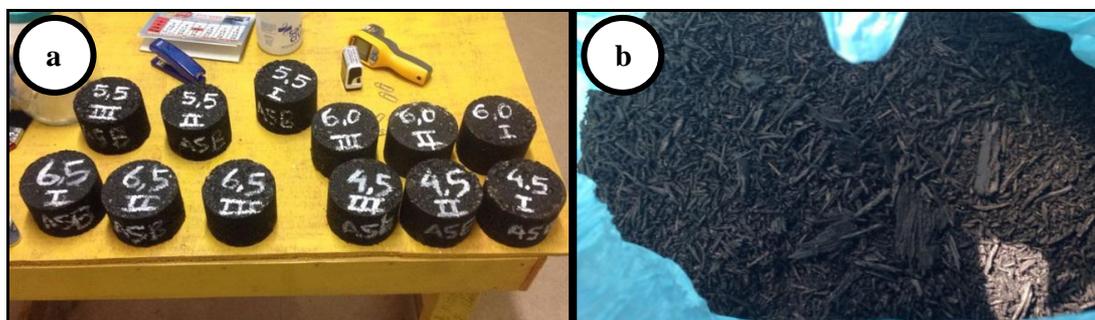


Figura 1. Corpos de prova (a) e resíduos utilizados (b)

Para confecção do asfalto utilizou-se um resíduo de borracha de pneus proveniente do processo de recauchutagem de uma fábrica localizada na Região Metropolitana de Belém-RMB. Durante a etapa de raspagem da banda de rodagem dos pneus são gerados grânulos de borracha de diversas formas e tamanhos. Estes resíduos ficam no chão da fábrica e posteriormente são recolhidos por uma mangueira de sucção para serem armazenados em camburões e depois receberem uma destinação, que na maioria das vezes, é o aterro sanitário. A Figura 2 ilustra as etapas de geração deste material.

O resíduo gerado, além da borracha, possui uma porcentagem de arames de aço. Por isso, antes de sua caracterização, foi realizada a retirada destes componentes com o auxílio de um ímã eletromagnético, após esse processo foi feito o peneiramento para separação do material em tamanhos médio, fino e grosso, conforme descrito no Fluxograma da Figura 3.

O material utilizado neste trabalho é referente aos grânulos de tamanho médio, sendo composto por formatos tipo: partículas granulares (pó) e fibras curtas com diâmetros (médio e fino), conforme ilustrado na Figura 4.



Figura 2. Geração dos resíduos

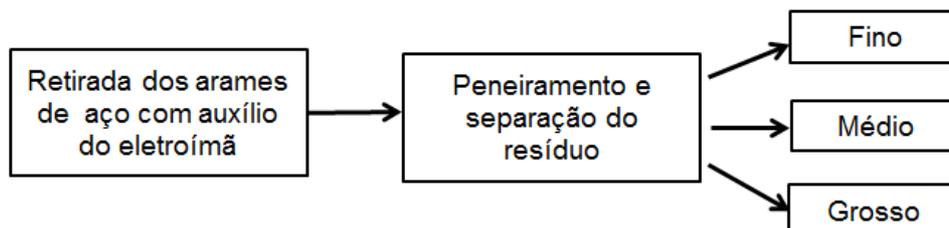


Figura 3. Fluxograma do beneficiamento do resíduo



Figura 4. Resíduo de borracha de pneu utilizado

2.2 Granulometria dos Agregados

As amostras foram recebidas no laboratório do Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA), já identificadas como seixo fino e pedrisco, procedentes do município de Ourém, e a areia do Km 21 da BR 316.

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 peneiramento em que são registradas as proporções de material retido em peneiras de diversas graduações. Foram observadas as determinações da Norma DNER-ME 083 (1998). 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

GRANULOMETRIA DA COMPOSIÇÃO			
Peneiras	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 de granulometria grossa 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-ME 083

(1998). As proporções estão apresentadas na Tabela 4. O processo de pesagem dos elementos está ilustrado nas Figuras 5 e 6.

Tabela 4. Porcentagens adotadas para a composição da mistura

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



Figura 5. Pesagem dos agregados



Figura 6. 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 (1995). 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 7 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 7. 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. O Gráfico da Figura 8 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

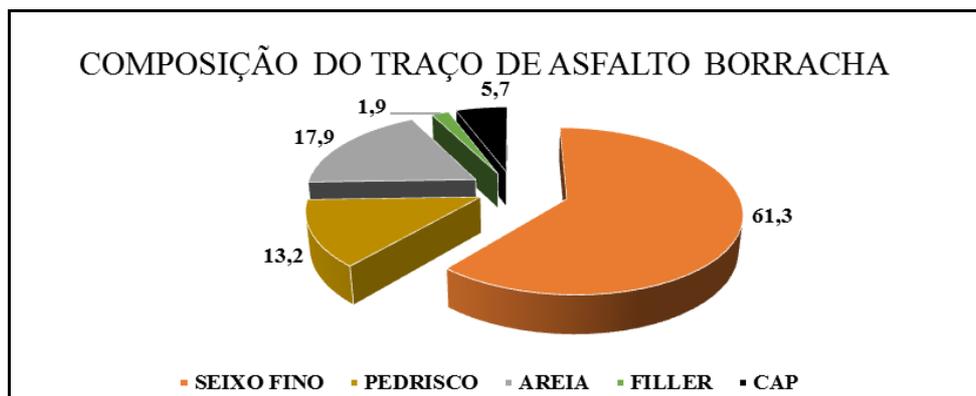


Figura 8. Composição do traço de asfalto de borracha

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 no Gráfico da Figura 9.

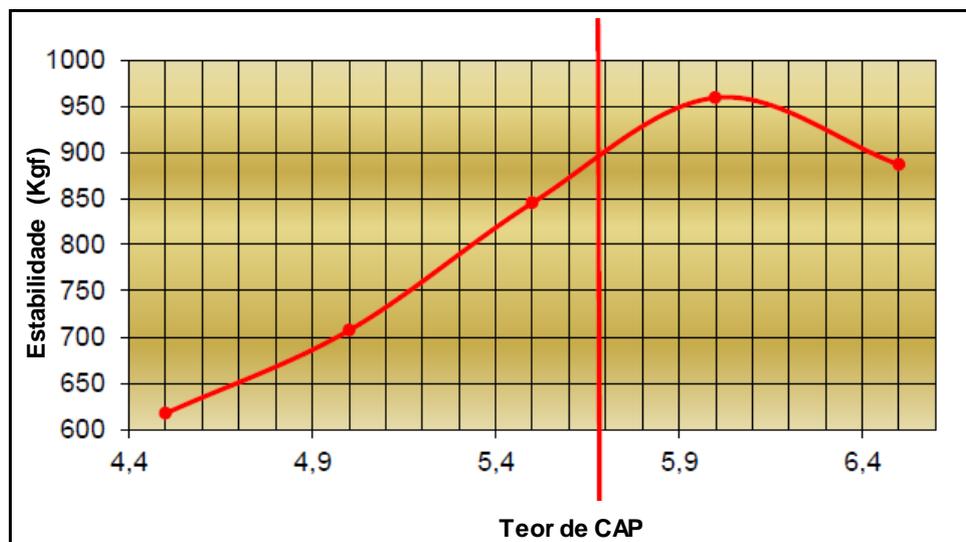


Figura 9. Comportamento das amostras no ensaio marshall para cada teor

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 no Gráfico da Figura 10.

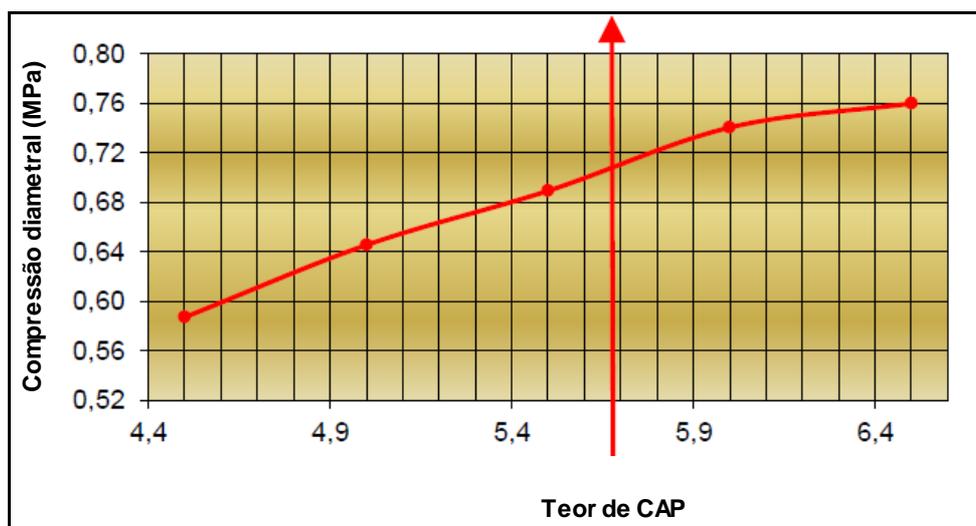


Figura 10. Comportamento das amostras no ensaio de compressão diametral para cada teor

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. Os Gráficos das Figuras 11 a 13 apresentam os valores obtidos para a porcentagem de vazios (espaços entre grânulos), a Relação Betume-Vazios (RBV), e para a densidade aparente, respectivamente.

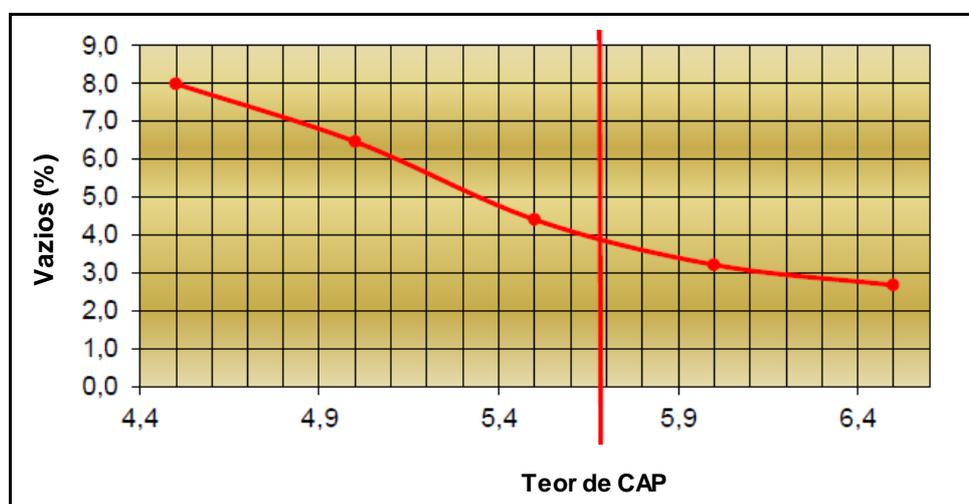


Figura 11. Valores de vazios para cada teor

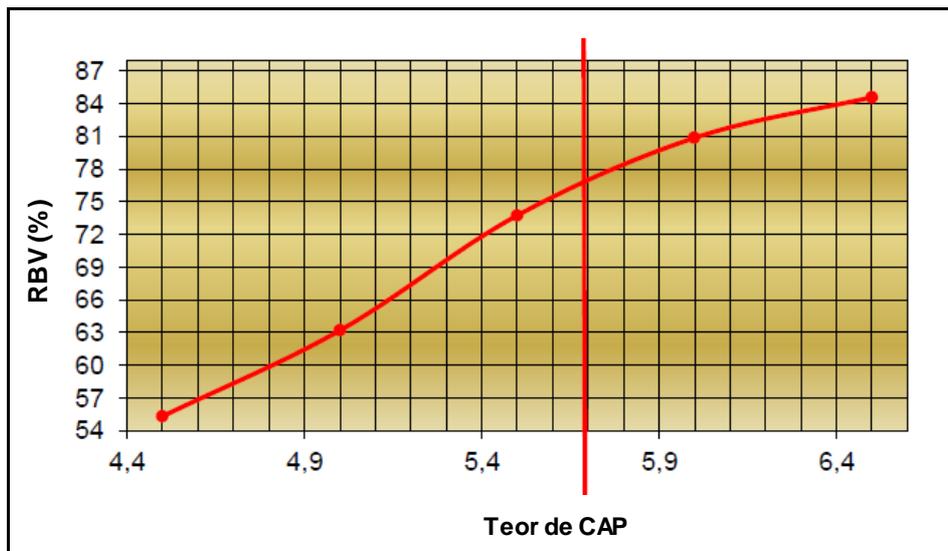


Figura 12. Valores da relação betume-vazios para cada teor

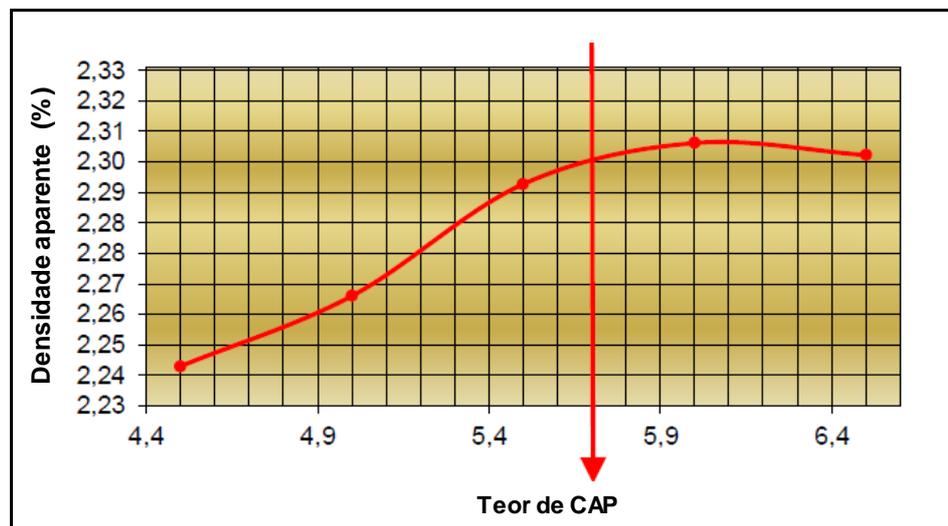


Figura 13. Valores de densidade aparente para cada teor

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-ES 031 (2006) 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-ES 031 (2006), 800 kgf.

O valor médio de porcentagem de vazios dos teores investigados foi de 3,9%, dentro do intervalo limitado pela Norma DNIT-ES 031 (2006) 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-ES 031 (2006).

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

Tabela 8. Requisitos Mínimos – Adaptado da Norma DNIT-ES 031 (2006)

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

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 tem demonstrado resultados satisfatórios, 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 tenacidade à fratura 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 de CAP em teores 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 como 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.

6. Referências

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. D 6114 (1997) "Standard Specification for Asphalt-Rubber Binder", United States of America.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE INDÚSTRIAS DE PNEUMÁTICOS (2016) "Catálogo ANIP", <http://www.anip.com.br/>, Outubro.

Billiter, T. C. (1997) "The Characterization of Asphalt-Rubber Binder", Tese de Doutorado, Texas A&M University, College Station, EUA.



- Bertollo, S. A. M., Fernandes Júnior, J. L., Villaverde, R. B. e 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, Janeiro.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT 031-ES (2006) "Pavimentos flexíveis - Concreto asfáltico - Especificação de Serviço", Rio de Janeiro.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER-ME 043 (1995) "Misturas betuminosas a quente - ensaio Marshall - Método de Ensaio", Rio de Janeiro.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER ES 313 (1997) "Pavimentação - Concreto Betuminoso", Rio de Janeiro.
- Faxina, A. L. (2002) "Estudo em Laboratório do Desempenho de Concreto Asfáltico Usinado a Quente Empregando Ligante Tipo Asfalto-Borracha", Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de São Carlos, SP, Brasil.
- Gallego, J., Val, M. A. e Tomás, R. (2000) "A Spanish Experience with Asphalt Pavements Modified with Tire Rubber" Anais do Asphalt Rubber, Vilamoura, Portugal, p. 673-687.
- Green, P. J. (1998) "Binders", In: Nicholls, J. C. (eds.), Asphalt Surfacing, E&FN Spon, Londres, Inglaterra.
- Keitzman, M. A. (1992) "Design and Construction of Asphalt Paving Materials with Crumb Rubber Modifier", Transportation Research Record, TRB, v. 1339, p. 1-8.
- Leite, L. M. (1999) "Estudo do Preparo e caracterização de asfaltos modificados por polímero", Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- Morilha Júnior, A. e Greca, M. R. (2003) "Considerações Relacionadas ao Asfalto Ecológico – Ecofléx - IEP", Apostila sobre Asfalto Borracha, Instituto de Engenharia do Paraná, p. 12, www.iep.org.br/lit/_apostila_asfalto_borracha.doc, Setembro.
- Pinheiro, J. H. M. (2004) "Incorporação de borracha de pneu em misturas asfálticas de diferentes granulometrias (processo úmido seco)", Dissertação de Mestrado em Transportes, Universidade Federal do Ceará, CE, Brasil.
- Specht, L. P., Ceratti, J. A. e Paludo, I. (2002) "Utilização de Borracha Reciclada como Agregado de Concreto Asfáltico: Avaliação Laboratorial", XVI Encontro de Asfalto, IBP, Rio de Janeiro.