Faculdade Presidente Antônio Carlos de Teófilo Otoni - Junho de 2018

ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE ASFALTO ECOLÓGICO E CIMENTO ASFALTICO DE PETRÓLEO

Iago Vinicius Barbosa* Pedro Emílio Amador Salomão** Paulo Henrique Vieira de Carvalho*** Luíza Gonçalves Cangussú Salomão****

Resumo

Este estudo tem a finalidade de demonstrar através da analise comparativa entre o asfalto ecológico e o convencional (CAP) o qual se destaca em termos de qualidade, custo e benefício. Dessa forma, para o desenvolvimento deste trabalho, foi realizada revisão bibliográfica sobre as particularidades de cada asfalto citados acima, abordando também a questão ambiental envolvendo o reaproveitamento de pneus inservíveis visando sua reutilização como novo componente no asfalto-borracha conhecido também como asfalto ecológico, frisando também a quantidade dos pneus produzidos no País, Estados e municípios. Foi analisadas questões como composição química, vantagens e desvantagens de acordo com a função a ser exigida e as condições diversas a que podem ser expostos. A partir das análises observou-se que o asfalto ecológico apesar de ser um investimento mais caro possui o melhor benefício visando que elem de diminuir o passivo ambiental de descarte inadequado de pneus tem maior resistência devido a sua melhor capacidade elástica o que aumenta sua vida útil diminuindo gastos frequentes com manutenção.

Palavras-chave: Análise comparativa. Asfalto ecológico. Convencional. Pneus inservíveis. Reutilização. Impacto ambiental.

Abstract

This study has the purpose of demonstrating through comparative analysis between ecological and conventional asphalt (CAP) which stands out in terms of quality, cost and benefit. Thus, for the development of this work, a bibliographical review was carried out on the particularities of each asphalt cited above, also addressing the environmental issue involving the reuse of waste tires for reuse as a new component in the asphalt-rubber also known as ecological asphalt, the quantity of tires produced in the country, state and municipality. Issues such as chemical composition, advantages and disadvantages were analyzed according to the function to be required and the diverse conditions to which they can be exposed. From the analysis it was observed that the ecological asphalt, despite being a more expensive investment, has the best benefit aiming at decreasing the environmental liability of inappropriate tire discarding because of its better elastic capacity, which increases its useful life reducing frequent expenses with maintenance.

Keywords: Comparative analysis. Ecological asphalt. Conventional. Unusable tires. Reuse. Environmental impact.

---

*Acadêmico do 10º período do Curso de Engenharia Civil da Faculdade Presidente Antônio Carlos de Teófilo Otoni. E-mail: iagovbarbosa@hotmail.com
**Químico, Mestre, Professor (a) na Faculdade Presidente Antônio Carlos – Teófilo Otoni. Email: pedroemilioamador@yahoo.com.br
***Engenheiro Civil, Especialista, Professor (a) na Faculdade Presidente Antônio Carlos – Teófilo Otoni. Email: phveengcarvalho@yahoo.com.br
****Arquiteta, Especialista, Professor (a) na Faculdade Presidente Antônio Carlos – Teófilo Otoni. Email: luisacangussu.arq@gmail.com

1) Introdução

Em um mundo cada vez mais preocupado com as questões ambientais, muitos profissionais utilizam tecnologias para a reciclagem de materiais que não apresentam mais utilidades e muitas vezes são descartados de forma irregular.

A produção de pneus, em larga escala, segue a indústria automotiva, seja no transporte de passageiros ou de cargas, matéria prima e insumos. Contudo, o descarte inadequado desses pode acarretar grandes danos sanitários e ambientais, tendo em vista que os mesmos chegam há ter 600 anos para sua degradação total como reportado por TADA *et al*. (2013).

De acordo com o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA 2013), O Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), que, em 2009, instituiu a Resolução nº 416, obrigando fabricantes e importadoras de pneus novos, com peso superior a dois quilos por unidade, a coletarem e destinarem os pneus sem uso para a sua total destruição. Esta lei obriga ainda, os mesmos, a criarem pontos de coleta em municípios com população superior a 100 mil habitantes, independentes do serviço público de limpeza urbana. (IBAMA2013).

Apesar de existir na Resolução n° 416/2009 da CONAMA, muitas vezes, os pneus são jogados de qualquer forma na natureza. Visto isso, vários estudos vêm sendo feitos a fim de serem utilizados em misturas asfálticas para pavimentação de vias rodoviárias e urbanas como proposto por DI GIULIO (2007).

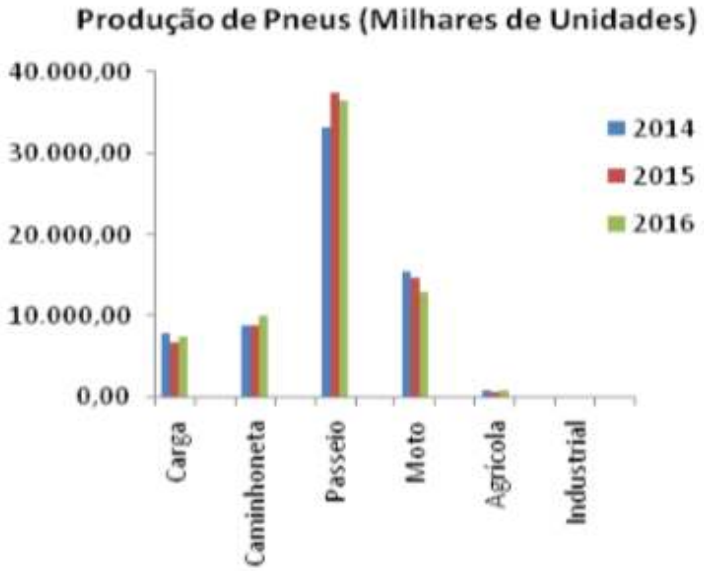
O pneu é um dos principais elementos criados para o funcionamento de um veículo de transporte. O americano Charles Goodyear, inventor conhecido por registrar a patente na vulcanização da borracha, em 1844, descobriu após vários testes um método em que misturava o enxofre com borracha e, logo após, era

exposto à alta temperatura, obtendo-se borracha vulcanizada. Goodyear relatou que ao realizar esta mistura, ela conseguia conservar as propriedades mais valiosas da borracha que era a elasticidade, a resistência e resiliência reportado por Gomez *et al*. (2016). Assim, a vulcanização da borracha, no qual o enxofre é o principal agente responsável pela ligação entre as moléculas dos polímeros, no caso da borracha podem ter seus compostos de forma química ou orgânica.

1.1) Produção e consumo de pneus no Brasil e no município de Teófilo Otoni

A ANIP (Associação Nacional da Indústria dos Pneumáticos) informa que, em 2016, foram produzidos aproximadamente 67.870,35 milhões de pneus no Brasil (Gráfico 1), tendo em vista que a coleta de diversos pneus inservíveis acaba sendo incorreta, que tem tornado a poluição do ambiente ainda mais alarmante.

Gráfico 1: Dados da associação nacional da indústria de pneus.



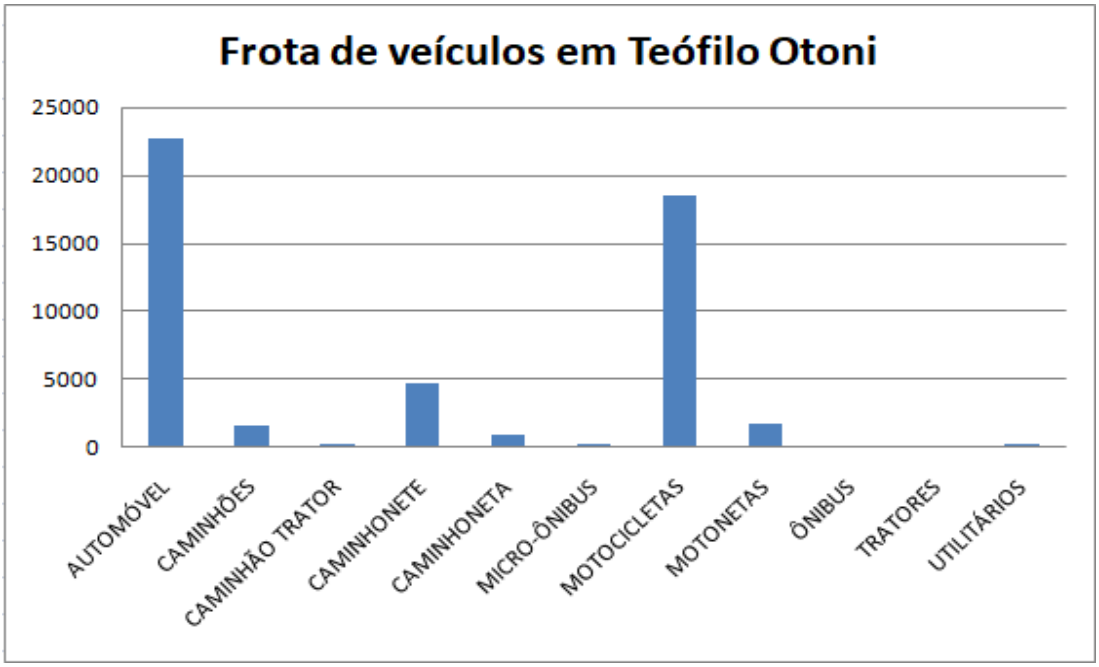
O município de Teófilo Otoni, localizado em Minas Gerais com população estimada em 141.502 mil habitantes, de acordo com Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas (IBGE, 2017). Apresenta uma frota de veículos automotores de aproximadamente 51.103 mil veículos de acordo com o gráfico 2, o que gera um consumo e descarte anual de mais de 100.000,00 mil pneus que receberá variados tipos de descartes de acordo com SINDIPNEUS (2017).

Algumas empresas da região fazem o descarte correto, enviando para o município de Betim/MG, região metropolitana de Belo Horizonte/MG, garantindo,

assim, que os mesmos sejam reutilizados de forma correta com novas finalidades, entre elas a produção de asfalto ecológico. SALOMÃO, P.E.A. *et al*. (2017).

Apesar das empresas descartarem corretamente os pneus, noutro giro, pôr de lado tais objetos que não possuem mais serventia, não se pode dizer das pessoas físicas que possuem automóveis, e contabilizam a maioria dos consumidores de pneus, que por falta de um plano de gestão de resíduos sólidos do município e a falta de implantação de palestras ou projetos que possibilitem informações para melhor conscientização sobre o dano causado pelo descarte de qualquer forma. SALOMÃO, P.E.A et al. (2017).

Gráfico 2: Frota de veículos em Teófilo Otoni.



1.2) Asfalto convencional e ecológico métodos de produção

O asfalto é um dos métodos de pavimentação ainda muito utilizado em diversos países. No Brasil, cerca de 95% das estradas são revestidas de asfalto, além de utilizá-lo nas grandes partes das suas ruas. As principais razões para o uso intensivo desse método de pavimentação são: funciona como forte ligante de agregados (cimento asfáltico de petróleo, asfaltos diluídos, asfalto modificado ou emulsões asfálticas), o que permite flexibilidade controlável; é impermeabilizante, é

durável e resiste a grande parte das ações dos ácidos, álcalis e dos sais, podendo aquecê-lo ou adicionando emulsão, em varias combinações de estrutura mineral, com ou sem aditivos. Sua constituição é formada por asfaltenos, resinas e hidrocarbonetos de natureza aromática, obtidos por refinação de petróleo, ou encontrados na natureza como depósito natural, ou ainda associados à matéria mineral.

Os asfaltos possuem aplicações variadas, e, considerando a sua principal aplicação, são subdivididos nos seguintes tipos: cimentos asfálticos de petróleo (CAP), asfaltos diluídos, emulsões asfálticas e asfaltos modificados. (FARAH, M. A.(2012)).

Estudos realizados há algum tempo mostram que o asfalto ecológico apresenta alguns benefícios seja do ponto de vista ambiental, e, também econômico, visando que o asfalto em questão apresenta algumas vantagens sobre o convencional. O pesquisador Charles H. McDonald ao dar a devida importância que as questões ambientais teriam no futuro; deu início à pesquisa, e, notou que a trituração dos pneus garantia ao material grande elasticidade podendo, assim, utilizar o mesmo, no asfalto convencional, para erradicar ao máximo os problemas relacionados à durabilidade, resistência, flexibilidade e resiliência. A partir de analises e observações realizadas por CHOUBANE et. al. (1999), a utilização de misturas da borracha no cimento asfáltico de petróleo (CAP), tem demonstrado que estas apresentam um desempenho superior às misturas convencionais.

2) Objetivo

2.1) Objetivo geral

Verificação da viabilidade de adição de borracha em cimento asfaltico de petróleo (CAP).

2.2) Objetivo específico

Se valendo da revisão bibliográfica será feito o estudo das alterações físicas e químicas ocasionadas pela adição de borracha proveniente de pneus e misturas com cimento asfáltico de petróleo.

3) Metodologia

Baseando em trabalhos publicados na literatura será feito uma comparação das alterações ocasionadas pela adição de borracha de pneu em cimento asfáltico de petróleo. Divido em quatro etapas:

1ª) Fonte: artigos científicos, dissertações de mestrado, teses de doutorado e trabalhos publicados em congressos (nacional e internacional).

2ª) Coleta de dados: Leitura exploratória e seletiva de todo material selecionado.

3ª) Análise e interpretação dos resultados: realização de leitura analítica com intuito de qualificar e quantificar as informações.

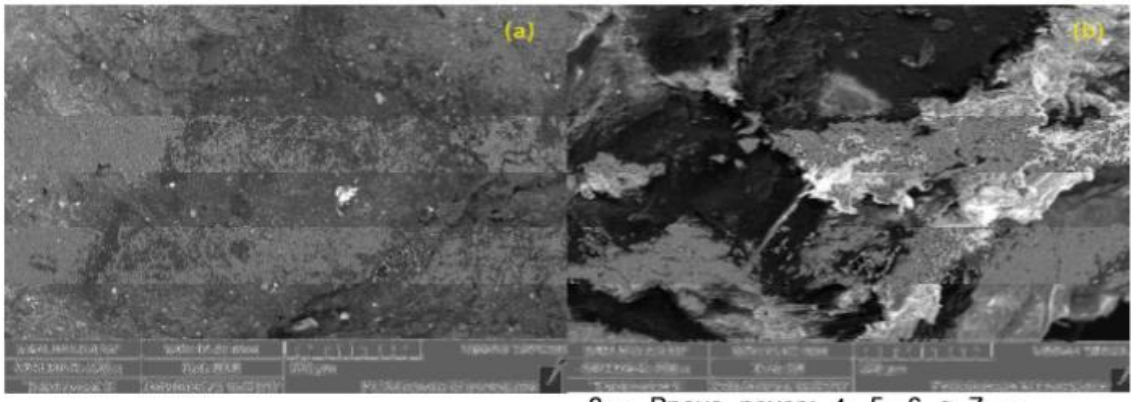
4ª) Discussão dos resultados: discussão dos dados obtidos a partir de todo referencial teórico.

4) Resultados e Discussões

Trabalhos recentes como o de SALOMÃO P. E. A. et al. (2017) reportam que nas análises de microscopia eletrônica de varredura (MEV) pode-se analisar na Figura 1 (a) que os pneus novos apresentam superfície uniforme, com aproximação em uma escala de 200 micrômetros, indicando uma boa distribuição dos polímeros. A imagem (b) demonstra que a superfície de um pneu com mais de 40 mil quilômetros rodados apresenta uma irregularidade na superfície.

Figura 1: Microscopias Eletrônicas de Varredura.

(a) Pneu novo. (b) Pneu com 40 mil Km de uso.

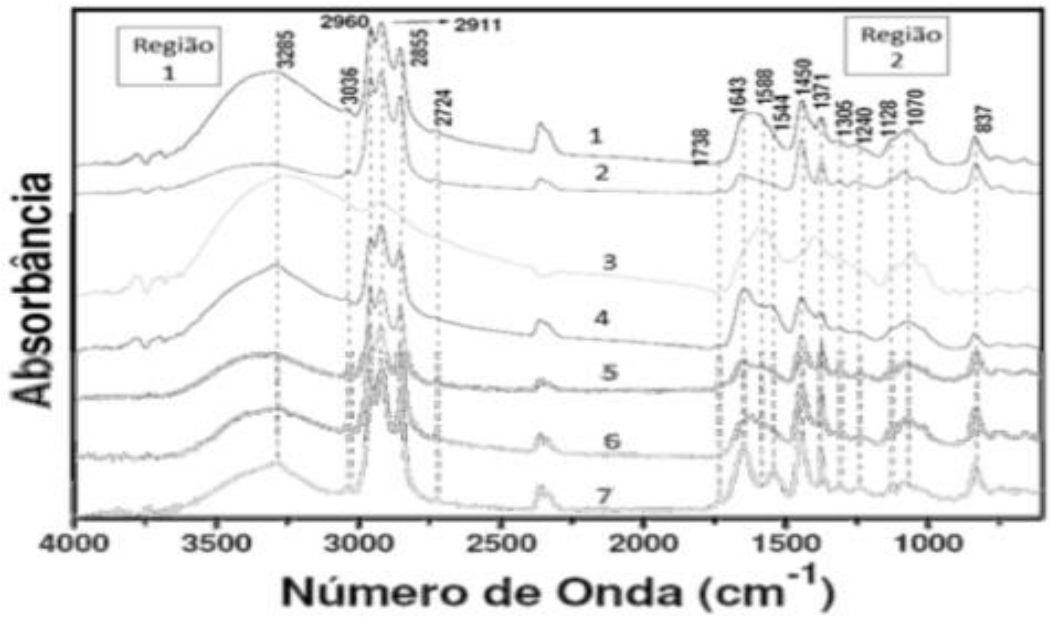


3 – Pneus novos; 4, 5, 6 e 7 –

SALOMÃO, P.E.A et al. (2017) observou que mesmo apresentando uma parte da camada exterior gasta, é possível afirmar que a composição química do pneu

permaneceu constante, como comprovado pelo espectro infravermelho com transformada de Fourier (IV-FT) na Figura 1.

Figura 2: Espectro IV-TR das amostras de pneus.



De acordo com o trabalho de SALOMÃO, P.E.A et al. (2017) foram realizadas analises através de ensaios no espectro (Figura 2) que possibilitaram ser observadas duas regiões distintas, mas comuns em todas as amostras em questão, tanto dos pneus novos (1 a 3) quanto dos pneus usados (4 a 7). Segundo West (1996) os dados apurados na espectroscopia de infravermelho, pode-se destacar que na Região 1, há modos vibracionais atribuídos ao isopreno (o principal constituinte da borracha natural (Látex)) ao passo que na Região 2 os modos vibracionais possuem características relacionadas a grupos da borracha sintética. A Tabela 1 mostra a quais grupos químicos se referem os respectivos comprimentos de onda, de forma comparativa aos valores propostos pela literatura.

Tabela 1: Comparação dos comprimentos de onda encontrados com os propostos pela literatura e seus modos vibracionais.

Experimental	Literatura	Atribuição
3036	3036	ν_s (=C–H)
2960	2962	ν_s C-H no CH_3
2914	2912	ν_s C–H no CH_3
2855	2854	ν_s C-H no $–CH_2–$
2724	2726	ν $–CH_2–C=(CH_3)$
1450	1450	δ $–CH_2–$
1371	1375	δ_s $–CH_3$
1305	1309	$–CH_2–$ twist
1241	1244	$–CH_2–$ twist
1128	1125 ou 1128 [146,158]	C–H CH2 cis
833	837	δ C = C – H

Após análises realizadas no trabalho de SALOMÃO, P.E.A et al. (2017) constataram que os pneus são uma mistura entre borracha natural e sintética, o que para produção do asfalto ecológico influencia positivamente, pois cada tipo de polímero contribui com uma característica.

Na caracterização de infravermelho (IV-FT) identifica que um pneu convencional apresenta borracha sintética como natural, levando em conta diferentes propriedades. De acordo com Bertollo (2003) um pneu de veículo de passeio típico (Goodyear 175/65 R14) com massa aproximada de 10 kg contém em massa:

- 2,5 kg de diferentes tipos de borracha sintética;
- 2,0 kg de diferentes tipos de borracha natural;
- 2,5 kg de tipos de negro-de-fumo;
- 0,75 kg de aço para as cinturas;
- 0,50 kg de poliéster e náilon;
- 0,25 kg de arames de aço;
- 1,50 kg de diferentes tipos de produtos químicos, óleos, pigmentos entre outros.

Baseando-se em estudos de Hurley et al. (2005) o asfalto-borracha, é um composto obtido a partir de cimento asfáltico de petróleo - CAP, borracha processada (moída) de pneus (BMP), diluentes e alguns aditivos especiais quando necessários. O volume de borracha de pneu alterna entre 15 % e 20 % em relação ao peso total do composto. Existem dois tipos de borracha nos pneus, que proporcionam diferentes propriedades: a sintética, responsável pela estabilidade térmica; e a natural, que fornece as propriedades elásticas.

Na produção do asfalto ecológico, a adição da borracha triturada de pneus às misturas asfálticas pode ser de 2 formas: úmido e seco. No processo úmido, a borracha triturada é adicionada ao Cimento Asfaltico de Petróleo (CAP) aquecido, criando o ligante modificado denominado de asfalto-borracha. SALOMÃO, P.E.A et al. (2017).

De acordo com Bertollo (2003) e Morilha (2003) o ligante modificado por borracha moída de pneus por via úmida, dependendo do seu processo de fabricação, pode ser estocável ou não-estocável.

No processo seco a borracha processada agrega-se à mistura juntamente com o ligante asfáltico o que dá origem ao produto “agregado-borracha” ou concreto asfáltico modificado com adição de borracha. A mistura modificada com adição de borracha no modo seco é indicada que se faça utilização somente em misturas asfálticas a quente (concreto asfáltico convencional ou com granulometria especial descontínua – gap-graded, por exemplo), não devendo ser usada em misturas a frio como informado por Leite (2003) e Pinheiro (2004).

A troca de um revestimento asfáltico por um com borracha incorporada apresentou uma diminuição de aproximadamente 2 dB(A) reportado por CALLAI, S.C. (2011). Por este beneficio e também para reduzir o armazenamento de pneus inservíveis, o governo americano exige que 5% do material usado para pavimentar rodovias federais seja Asfalto-borracha.

O asfalto-borracha tem valor de venda cerca de 30% acima do convencional, contudo visando o custo-benefício considera-se um investimento, pois, além de ajudar a combater o passivo de pneus descartados de forma incorreta, possui durabilidade maior que a do convencional. Além disto, a incorporação da borracha ao pavimento apresenta melhoria nas suas propriedades físicas, como resistência à deformação permanente, resistência à fadiga e resistência de aderência, entre outros – aumentando sua vida útil, com redução nos custos dos materiais como citado por SANTOS, T. A. (2013) e MATTOS, J.R.G. (2009).

A reutilização de materiais na forma de pavimentos flexíveis empregando o asfalto com borracha também reduz despesas com transportes e tempo de execução da obra, o que torna essa técnica ainda mais econômica. SERRAGLIO, D (2014).

Segundo SANTOS, T. A. (2013) a incorporação de pneus inservíveis ao asfalto tem a finalidade de melhorar as propriedades, a durabilidade e o desempenho do pavimento, além de contribuir com o ambiente. Ou seja, as

propriedades da borracha melhoram a qualidade do ligante asfáltico, garantindo o aumento da flexibilidade e garante a mistura mais resistente ao envelhecimento e ao aparecimento de deformações e trincas. Também aumentam a segurança do usuário da via se comparando àquela com o uso do asfalto convencional. Ademais, propiciam vantagens ecológicas, ambientais e sociais, pela destinação adequada aos pneus descartados e inservíveis

Segundo informações descritas no trabalho Bariani, L.B et al. (2006) os CAP's (cimentos asfálticos de petróleo) são formados de 90 a 95% de hidrocarbonetos e de 5 a 10% de heteroátomos (oxigênio, enxofre, nitrogênio e metais – vanádio, níquel, ferro, magnésio e cálcio) unidos por ligações covalentes. Os cimentos asfálticos de petróleos brasileiros possuem baixos índices de enxofre e de metais, e alto índice de nitrogênio, enquanto os procedentes de petróleos árabes e venezuelanos têm grande quantidade de enxofre (Leite, 1999). A composição química é bastante complexa sendo que o número de átomos de carbono por molécula varia de 20 a 120. A composição química do CAP influencia no desempenho físico e mecânico das misturas asfálticas, com tudo sua maior influência será nos processos de incorporação de agentes modificadores tais como os polímeros. Bariani, L.B et al.(2006).

5) CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após análises realizadas nesse trabalho observou-se que devido à preocupação com o passivo ambiental causado pelo descarte inadequado de pneus criou-se um novo tipo denominado ligante asfaltico derivado da borracha processada (moída), que inicialmente apresentava só como aspecto positivo as questões ambientais, mas se observou com o tempo que o asfalto-borracha, como ficou conhecido possui características melhores que os ligantes comuns.

O asfalto-borracha possui maior durabilidade no revestimento podendo sua vida útil chegar a 25, 30 anos tendo em vista a sua variação de acordo com as condições da estrada, a temperatura e clima da região, assim como, a intensidade do tráfego segundo observações de Ruwer, P. (2001), engenheiro responsável por uma experiência pioneira com asfalto-borracha em uma estrada controlada pelo consórcio Univias.

Observou-se também que a borracha misturada ao asfalto promove sua elasticidade garantindo, assim, a característica de recuperação elástica, o que ajuda, diretamente, evitar a deformação permanente do material. Com a adição de

borracha, o revestimento é mais suscetível a retroceder a sua forma inicial após a retirada da carga, levando a uma resistência à deformação maior que a dos ligantes comuns.

Tendo em vista aspectos econômicos, pensando somente no investimento e não visando o beneficio da vida útil, o asfalto-borracha se torna desvantajoso pelo fato de ser 30% mais caro que o convencional, mas pensando no custo-benefício prolongado, ainda se torna vantajoso o investimento, como, por exemplo, citado por SANTOS, T. A. (2013) e MATTOS, J.R.G. (2009), lembrando que deve ser analisado para afirmar se o mesmo deva ser o mais indicado para cumprir as funções a serem exigidas.

REFERÊNCIAS

TADA, A. M.; DE ALMEIDA, A. M. G.; GONÇALO JR, P. R.; KIMURA, W. **Resíduos sólidos urbanos: aterro sustentável para municípios de pequeno porte**. Florianópolis, Editora Rima Artes e Textos, 2013.

DI GIULIO, G. **Vantagens ambientais e econômicas no uso da borracha em asfalto – Inovação.** Uniemp v.3 n.3 – Campinas, 2007. Gomez et al. (2016)

Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos (ANIP), obtido em: http://www.anip.com.br/arquivos/producao-vendas.pdf (Acesso 20/03/2018)

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) Obtido em: http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=316860&search=||infogr%E1ficos:-informa%E7%F5es-completas (Acesso 22/03/2018).

Sindicato Nacional da Industria de Pneus (SINDIPNEUS) Obtido em: http://sindipneus.com.br/wordpress/?page_id=8 (Acesso 22/03/2018).

FARAH, M. A. **Petróleo e seus derivados**. LTC, 2012.

CHOUBANE, B.; SHOLAR, G. A.; MUSSELMAN, J. A.; PAGE, G. C. 1999. **Ten-Year Performance Evaluation of Asphalt-Rubber Surface Mixes,** Transportation Research Record, 1999.

BERTOLLO, S. A. M. **Avaliação laboratorial de misturas asfálticas densas modificadas com borracha reciclada de pneus**. 198 f. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

MORILHA JR., A.; TRICHÊS, G. **Análise comparativa de envelhecimento em laboratório de nove ligantes asfálticos.** In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 34, 2003, Campinas. Anais, Rio de Janeiro: ABPv, p. 110-128, 2003.

LEITE, L. F. M. **Notas de aula do Curso de Pavimentação Urbana. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Pavimentação**, 2003. Pinheiro (2004).

CALLAI, S.C. **Estudo do ruído causado pelo tráfego de veículos em rodovias com diferentes tipos de revestimentos de pavimentos**. 2011. 93p. Dissertação (mestrado), Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia de Transportes, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2011.

SANTOS, T. A. **Mistura asfáltica modificada por borracha de pneus inservíveis, como alternativa sustentável, para aplicação na pavimentação.** In: Simpósio Internacional de Gestão de Projetos, 2., 2013, São Paulo, SP: SINGEP e S2is. Anais... , pp.1-17, 2013.

MATTOS, J.R.G. **Avaliação da aderência pneu-pavimento e tendências de desempenho para a rodovia BR-290 – RS. 2009.** 139p. Dissertação (mestrado), Curso de Engenharia Civil, Departamento de Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil., Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2009.

SERRAGLIO, D. **Análise de projeto de restauração com uso da técnica de reciclagem de pavimento flexível como base para revestimento de asfalto**

borracha. 2014. 109p. TCC (graduação), Curso de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, PR, 2014.

Pavimentação asfáltica : formação básica para engenheiros / Liedi Bariani Bernucci... [et al.]. – Rio de Janeiro : PETROBRAS: ABEDA, 2006.

LEITE, L.F.M. **Estudos de preparo e caracterização de asfaltos modificados por polímeros.** 1999. 266 f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Polímeros) – Instituto de Macromoléculas Professora Eloísa Mano, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1999

http://infraestruturaurbana17.pini.com.br/solucoes-tecnicas/11/asfalto-borracha-a-adicao-de-po-de-borracha-extraido-de-245173-1.aspx (Acessado 14/05/1018)

SALOMÃO, P.E.A et al. **CARACTERIZAÇÃO E ESTUDO DE PNEUS PARA APROVEITAMENTO NA ELABORAÇÃO DE ASFALTO ECOLÓGICO.** Revista multidisciplinar do Nordeste mineiro v. 1, p. 129-145, 2017.

GOMEZ, I.; MECERREYES, D.; BLAZQUEZ, J. A.; LEONET, O.; YOUCEF, H. B.; LI, C.; RODRIGUES-MARTINEZ, L. **Inverse vulcanization of sulfur with divinylbenzene: Stable and easy processable cathode material for lithium-sulfur batteries.** Journal of Power Sources, v. 329, p. 72-78, 2016.

HURLEY, G. C.; PROWELL, B. D. **Evaluation of Sasobit® for use in warm mix asphalt.** NCAT Report 05-06. Auburn, 2005.

INSTITUTO Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA. Brasil atinge 95% da destinação dos pneus inservíveis. Disponível em: http://www.ibama.gov.br/publicadas/brasil-atinge-95-de-destinacao-dos-pneusinserviveis (Acesso 15/05/2018).