

O USO DE BORRACHA DE PNEUS EM MISTURAS ASFÁLTICAS

Henrique Ferreira Mendes¹

José Jonas de Lima Melo²

Luis Henrique Duarte Vasconcelos de Carvalho³

Jonas Rafael Duarte Cavalcante⁴

Engenharia Civil



ISSN IMPRESSO 1980-1777

ISSN ELETRÔNICO 2316-3135

RESUMO

Por meio do método da vulcanização da borracha, Charles Goodyear descobriu um material mais elástico e resistente, cuja principal aplicação foi como pneumáticos. Aliado a isso, a mobilidade urbana é uma necessidade do ser humano desde os primórdios, e com o avanço tecnológico, e o crescimento populacional, a quantidade de veículos utilizados superou números incríveis, principalmente nos grandes centros mundiais, com isso, a demanda de pneus aumentou consideravelmente. Dessa forma, o pneu, que em algum momento torna-se inservível, é descartado na maioria das vezes de forma inadequada, ocasionando problemas ambientais e de saúde – o mosquito transmissor da dengue, por exemplo, reproduz-se em água parada muitas vezes localizada em pneus velhos. A Engenharia Civil teve grande importância na reutilização dos pneus, seja em obras de contenção, construção de quebra-mares, controle de erosão, geração de energia, porém, com o tempo e o aperfeiçoamento da tecnologia e das técnicas que as envolve, uma das suas principais aplicações foi ser inserido na pavimentação, com o advento do asfalto-borracha. Essa técnica começou realmente no início dos anos sessenta, nos Estados Unidos, onde ao longo dos anos, observou-se que tal alternativa seria uma solução para os problemas ambientais que os pneus causavam. Dessa forma, estudos para o desenvolvimento da implantação da borracha buscaram aprimorar a técnica ao máximo, tentando encontrar a melhor forma para isso.

PALAVRAS-CHAVE

Tecnologia. Reutilização. Asfalto-Borracha.

ABSTRACT

Through the rubber vulcanization method, Charles Goodyear discovered a more elastic and resistant material, whose main application was as pneumatics. Allied to this, the urban mobility has been a necessity for the human being since the early, and with technological advancement, and population growth, the number of vehicles used exceeded incredible numbers, mainly in the great world centers, as a result, tire demand has increased considerably. In this way, the tire, which at some point becomes unusable, is discarded most often inappropriately, causing environmental and health problems – the mosquito that transmits dengue, for example, reproduces in standing water often located on old tires. The Civil Engineering had great importance in the reuse of the tires, whether in containment works, construction of breakwaters, erosion control, power generation, however, with the time and the improvement of the technology and the techniques that involve them, one of its main applications was to be inserted in the pavement, with the advent of asphalt-rubber. This technique actually began in the early sixties, in the United States, where over the years, it has been observed that such an alternative would be a solution to the environmental problems that the tires caused. Thus, studies for the development of rubber implantation sought to improve the technique to the maximum, trying to find the best way for this.

KEYWORDS

Technology. Reutilization. Asphalt-rubber.

1 INTRODUÇÃO

Construir vias de transporte é uma preocupação e atividade de remotas civilizações, gerada por razões de ordem econômica, de integração regional e de cunho militar; pavimentar as vias, ainda na Antiguidade, tornou-se atividade essencial para a adequação e preservação dos caminhos mais estratégicos (BALBO, 2007).

O homem pré-histórico, na sua busca de alimentação e água, procurava deixar os caminhos entre sua caverna e os campos de caça ou poços de água em condições de permitir sua passagem o mais fácil possível. Estava, assim, atendendo ao princípio fundamental do transporte: melhorar o caminho por onde devia passar, quando tinha necessidade de se deslocar periodicamente entre pontos extremos ou intermediários (DE SENÇO, 1997).

Pavimentar uma via de circulação de veículos é obra civil que enseja, antes de tudo, a melhoria operacional para o tráfego, na medida em que é criada uma superfície mais regular (garantia de melhor conforto no deslocamento do veículo), uma superfície mais aderente (garantia de mais segurança em condições de pista úmida e molhada), uma superfície menos ruidosa diante da ação dinâmica dos pneumáticos

(garantia de melhor conforto ambiental em vias urbanas e rurais), seja qual for a melhoria física oferecida (BALBO, 2007).

Ainda segundo Balbo (2007), a garantia de uma superfície aderente aos pneumáticos dos veículos também reflete em redução nos custos operacionais das vias e rodovias, pois os acidentes de trânsito são minimizados; tais custos possuem matrizes que os tornam, muitas vezes, de difícil ponderação, emanando reflexos para a sociedade como um todo.

Cerca de 97% das rodovias brasileiras possuem pavimento flexível, sendo o asfalto, o componente principal das macas de rolamento e, às vezes, de camadas intermediárias da estrutura (CERATTI, 2011).

Levantamentos recorrentes da Confederação Nacional do Transporte (CNT) têm considerado a grande maioria dos pavimentos do Brasil de baixo conforto ao rolamento, incluindo muitos trechos concessionados da malha federal. Estima-se de 1 a 2 bilhões de reais, por ano, para manutenção das rodovias federais. Acredita-se que seriam necessários R\$ 10 bilhões para recuperação de toda a malha viária federal. Nas últimas décadas, o investimento em infraestrutura rodoviária se encontra bem aquém das necessidades do país, havendo uma crescente insatisfação do setor produtivo com esse nível de investimento (BERNUCCI *et al.*, 2010).

De acordo com a pesquisa da CNT publicada em 2004, a malha rodoviária brasileira encontra-se em condições insatisfatórias aos usuários tanto quanto ao desempenho, quanto à segurança e à economia. Já em 1997, a pesquisa CNT apontava que 92,3% das estradas brasileiras avaliadas na pesquisa eram classificadas como deficientes, ruins, péssimas em seu estado geral. Em 2004, esse índice ficou em 74,7%, e em 2009, 69,0% de regular, ruim, péssimo. Observa-se uma leve melhoria, mas de forma muito lenta. Ressalta-se que, nos três quesitos avaliados na pesquisa, ou seja, pavimento, sinalização e geometria da via, a qualidade do pavimento está estabilizada com aproximadamente 55% de regular, ruim, péssimo desde 2004 (BERNUCCI *et al.*, 2010).

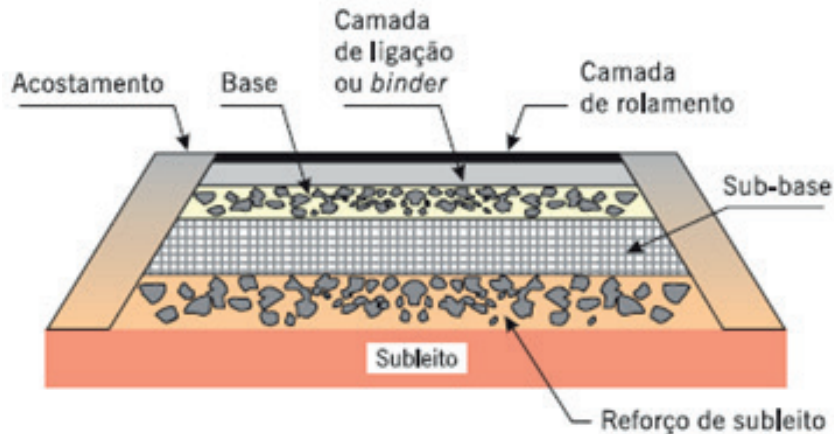
2 PAVIMENTO ASFÁLTICO

De acordo com Bernucci *et al.*, (2010), os pavimentos asfálticos são aqueles em que o revestimento é composto por uma mistura constituída basicamente de agregados e ligantes asfálticos. É formado por quatro camadas principais (FIGURA 1.0): revestimento asfáltico, base, sub-base e reforço do subleito. O revestimento asfáltico pode ser composto por camada de rolamento – em contato direto com as rodas dos veículos e por camadas intermediárias ou de ligação, por vezes denominadas de *binder*, embora essa designação possa levar a uma certa confusão, uma vez que esse termo é utilizado na língua inglesa para designar o ligante asfáltico. Dependendo do tráfego e dos materiais disponíveis, pode-se ter ausência de algumas camadas. As camadas da estrutura repousam sobre o subleito, ou seja, a plataforma da estrada terminada após a conclusão dos cortes e aterros.

Do ponto de vista funcional, o pavimento tem a tarefa de suportar o tráfego e

fornecer aos usuários segurança, conforto e economia. Essa função está intimamente relacionada com o estado da superfície de rolamento. A evolução das condições de rolamento, por sua vez, depende das intempéries, do tráfego e características estruturais do pavimento (ODA, 2000).

Figura 1 – Estrutura do Pavimento Asfáltico



Fonte: Bernucci *et al.*, (2010).

O asfalto utilizado em pavimentação é um ligante betuminoso que provém da destilação do petróleo e que tem a propriedade de ser um adesivo termo viscoelástico, impermeável à água e pouco reativo. A pouca reatividade química a muitos agentes não evita que este material possa sofrer, no entanto, um processo de envelhecimento por oxidação lenta pelo contato com o ar e água (CERATTI, 2011).

Segundo Oda (2000), a importância dos ligantes asfálticos para o desempenho dos pavimentos flexíveis tem levado ao uso de aditivos para melhorar suas propriedades físicas, mecânicas e químicas, aumentando a resistência a formação de defeitos.

Para a maioria das aplicações rodoviárias, os ligantes asfálticos convencionais têm bom comportamento, satisfazendo plenamente os requisitos técnicos necessários para o desempenho adequado das misturas asfálticas. No entanto, para condições de volume de veículos comerciais e peso por eixo crescente, ano a ano, em rodovias especiais ou nos aeroportos, em corredores de tráfego pesado canalizado e para condições adversas de clima, com grandes diferenças térmicas entre inverno e verão, tem sido cada vez mais necessário o uso de modificadores das propriedades dos asfaltos (CERATTI, 2011).

3 PANORAMA HISTÓRICO

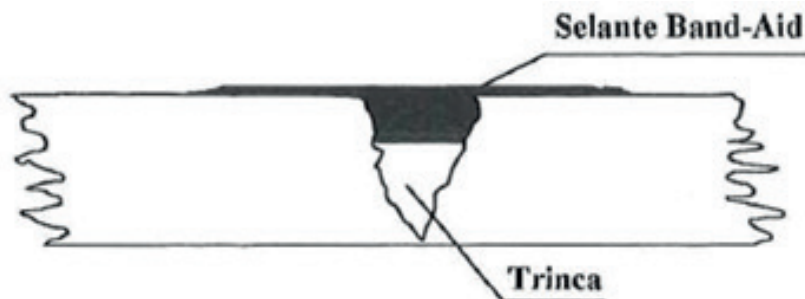
O processo de vulcanização de borracha foi descoberto casualmente por Charles Goodyear, em 1839, ao deixar cair enxofre em uma amostra de borracha que estava sendo aquecida. Com isso, foi descoberto um material mais resistente e elástico, cuja demanda se multiplicou no mundo todo (GOODYEAR, 2019).

Aplicações práticas de asfaltos modificados se iniciaram em 1901, quando a *Société du Pavage em Asphalt Caoutchoute* foi estabelecida na França. A primeira estrada construída com asfalto modificado por borracha ocorreu em 1902, em Cannes. Os asfaltos modificados antes da Segunda Guerra Mundial eram constituídos pela adição da borracha natural, que era o material disponível da época (ZANZOTTO; KENNEPOHL, 1996).

A mistura do asfalto com a borracha de pneus não é uma tecnologia nova, têm aproximadamente 40 anos de vida. Foi desenvolvida no Arizona, Estados Unidos, por um técnico chamado Charles Mac'Dowell, que registrou sua patente depois de 10 anos de experiências, estudos e análises experimentais. O pneu é reciclado e triturado, dando origem à borracha granulada, sendo necessário haver a fusão entre os dois materiais, ou seja, dar origem a um terceiro produto, que não é nem o primeiro, nem o segundo, consistindo numa tecnologia altamente avançada, embora tenha 40 anos de idade (SILVA, 2007).

Suas pesquisas resultaram no desenvolvimento de um produto composto de ligante asfáltico e 25% de borracha de pneu moído (de 0,6 a 1,2 mm), misturados a uma temperatura de 190°C durante 20 minutos, para ser utilizado em remendos. Esse produto, denominado *band-aid* (FIGURA 2.0), foi utilizado também como selante de trincas e como camada de reforço – por meio do processo denominado *Stress Absorbing Membrane Interlayer* (SAMI). A primeira aplicação foi feita em uma rua na cidade de Phoenix, onde pôde-se verificar que, após 6 anos, o pavimento não apresentava a formação de trincas por reflexão (ODA, 2000).

Figura 2 – Configuração de selante “band-aid”



Fonte: ODA (2000).

Em 1974, a Divisão de Projetos do *Federal Highway Administration* (FHWA), iniciou um estudo sobre materiais para pavimentos asfálticos contendo borracha reciclada. O principal objetivo desse estudo foi incentivar o uso de asfalto-borracha na construção e manutenção de rodovias, uma vez que o produto apresentava características de desempenho superiores aos materiais convencionais quando comparados aos resultados de laboratório e de campo. Além disso, esperava-se que o aumento do uso de asfalto-borracha expandiria o mercado de borracha reciclada, cooperando com a redução do problema de disposição de resíduos causado por milhões de caminhões e automóveis descartados anualmente nos Estados Unidos (ODA, 2000).

Foi aprovada no Brasil, em 26 de agosto de 1999, resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), que institui a responsabilidade ao produtor e importador, pelo ciclo total da mercadoria. A partir de janeiro de 2002, fabricantes e importadoras de pneus foram obrigados a coletar e dar destinação final de forma ambientalmente correta para os produtos que colocam no mercado. Pela proposta, o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) ficou responsável pela aplicação da resolução, podendo punir os infratores com base na Lei de Crimes Ambientais. Inicialmente, para cada quatro pneus novos fabricados no Brasil ou importados, deverão reciclar/reutilizar um pneu inservível (BERTOLLO *et al.*, 2000).

No Brasil a primeira aplicação de concreto asfáltico com asfalto-borracha foi feita em agosto de 2001 na Rodovia BR-116/RS. Atualmente, já está sendo comercializado em grande escala o asfalto-borracha, e já foi empregado com sucesso em algumas obras de recuperação estrutural de trechos rodoviários. Já se tem experiência em concreto asfáltico e tratamento superficial. Também em alguns trechos já foram aplicados com o processo seco (agregado-borracha) (BERNUCCI *et al.*, 2008).

4 QUESTÃO AMBIENTAL

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

O pneu possui papel fundamental e insubstituível em nossa vida diária, tanto no transporte de passageiros quanto no de cargas. Entretanto, quando se tornam inservíveis, acarretam uma série de problemas: são objetos perceptíveis e incômodamente volumosos, que precisam ser armazenados em condições apropriadas para evitar riscos de incêndio e proliferação de mosquitos e roedores. A disposição em aterros torna-se inviável, já que apresentam baixa compressibilidade e degradação muito lenta. Além disso, quando enterrados, tendem a subir e sair para a superfície (EPA, 1991; JARDIM, 1995).

O reaproveitamento de pneus inservíveis (FIGURA 3.0) 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 JR.; GRECA, 2003).

Em face do apelo ambiental sobre a destinação final da borracha de pneus, as indústrias produtoras desse tipo de material devem, legalmente, dar uma destinação final ao material descartado após uso, que geralmente é a própria reciclagem da borracha. A trituração dos pneus pode resultar em dois tipos de materiais para a incorporação do asfalto, porém de forma muito distinta: como agregado ou como modificador de asfaltos (BALBO, 2007).

Na sua forma inteira, os pneus podem ser aplicados em obras de contenções nas margens de rios para evitar desmoronamentos: como recifes artificiais, na construção de quebra-mares; na construção de equipamentos para parques infantis; no controle

de erosão etc. Inteiros podem, ainda, ser utilizados como combustíveis em fábricas de celulose e papel, em fornos de cimento e em usinas termelétricas (EPA, 1991).

Nenhum país produz mais pneus inservíveis que os Estados Unidos. Estima-se que sejam dispostos 285 milhões de pneus por ano, algo em torno de 4,7 milhões de toneladas, o que representa mais de um pneu, por habitante, por ano. Desse montante, 33 milhões de pneus são recauchutados, 22 milhões são reutilizados (revendidos) e os outros 42 milhões são destinados a diferentes aplicações. Os 188 milhões de pneus restantes são enviados para aterros ou dispostos ilegalmente (HEITZMAN, 1992).

Na Europa, por exemplo, dois milhões de toneladas de pneus chegam ao fim de sua vida a cada ano. No Canadá, aproximadamente, 30 milhões de pneus são descartados anualmente (ZANZOTTO; KENNEPOHL, 1996).

Segundo dados da Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos (ANIP), no Brasil, são colocados no mercado aproximadamente 61 milhões de pneus por ano, sendo que cerca de 38 milhões são resultado da produção nacional e 23 milhões são pneus reaproveitados, usados importados ou recauchutados.

Existe, ainda, alternativa ecologicamente correta que podem ajudar no grande acúmulo de pneus sem destinação adequada: contenção de erosão do solo, combustível de forno para produção de cimento, cal, papel, e celulose, pisos industriais, solas de sapatos, tapetes de automóveis, equipamentos para *playground*, limitação de territórios em esportes, rampas para deficientes físicos, essas são apenas algumas das tantas maneiras que pode ser utilizado o pneu inservível (BEDUSCHI, 2010).

Uma das formas de reduzir a sensibilidade dos concretos asfálticos a pequenas variações de teor de ligante e torná-lo ainda mais resistente e durável em vias de tráfego pesado é substituir o ligante asfáltico convencional por ligante modificado por polímero ou por asfalto-borracha (BERNUCCI *et al.*, 2010).

Figura 3 – Pneus inservíveis



Fonte: ODA (2000).

5 PROCESSOS DO ASFALTO-BORRACHA

O pneu apresenta uma estrutura complexa, formada por diversos materiais como: borracha, aço e tecido (náilon ou poliéster), que visam conferir as características necessárias ao seu desempenho e segurança. Do ponto de vista ambiental, a reciclagem dessas matérias-primas seria a solução mais satisfatória, com a condição de se poder recuperar materiais de qualidade a um custo energético mínimo. Mas o pneu, no sentido exato do termo, não é verdadeiramente reciclável. Isso porque o seu caráter compósito e a irreversibilidade da reação de vulcanização, tornam impossível reobter as matérias-primas iniciais.

No entanto, é possível recuperar e reutilizar parte deles. Os pneus são cortados e triturados, em várias operações de separação dos diferentes materiais (FIGURA 4.0), que permitem a recuperação dos materiais, obtendo-se borracha pulverizada ou granulada, que irá ter diversas aplicações, como: em misturas asfálticas, em revestimentos de quadras e pistas de esporte, na fabricação de tapetes automotivos, adesivos etc. (BERTOLLO *et al.*, 2000).

Figura 4 – Destino dos pneus descartados



Fonte: ODA (2000).

A forma mais elaborada de incorporação da borracha é triturá-la finamente (com diâmetro inferior a 2 mm) e previamente incorporá-la ao cimento asfáltico de petróleo (CAP), o que é realizado a quente (temperatura próxima a 200°C) em tanques, com auxílio de elevado esforço mecânico de cisalhamento, sendo o tempo de reação da mistura entre 20 min e 120 min, dependendo de inúmeras condições (BALBO, 2007).

Ainda segundo Balbo (2007), no processo de digestão da borracha finalmente moída ao CAP, há necessidade de introdução de óleos aromáticos de maltenos (saturados) que atuam sobre as partículas da borracha, para auxílio na diluição do material (digestão da borracha). Note que, se não se introduzirem óleos extensores, a borracha consumirá aromáticos dos maltenos disponíveis no CAP, que necessariamente deverão ser recompostos. A viscosidade da mistura, sem a adição de óleo extensor, poderá subir além do aceitável. Esses óleos extensores, ricos em maltenos, como os agentes

de rejuvenescimento empregados na reciclagem a quente de misturas asfálticas, serão aplicados em taxas de 5% a 20% do peso do CAP na mistura com borracha.

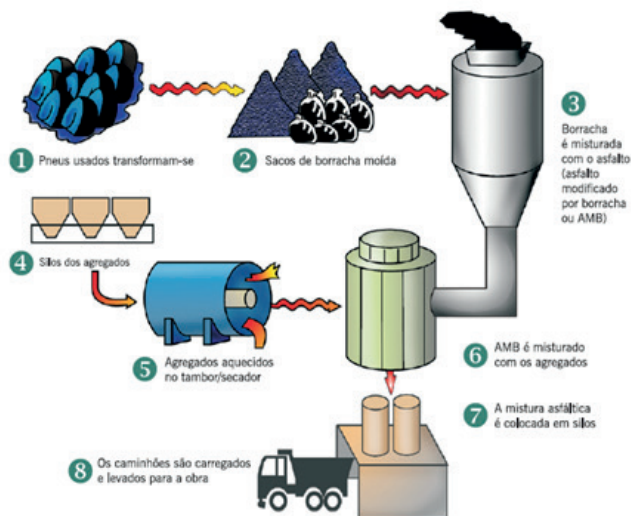
Um pneu de veículo de passeio típico (Goodyear P 195/ 75R14), com massa aproximada de 10kg, contém (BERTOLLO, 2003):

- 2,50kg de diferentes tipos de borracha sintética;
- 2,0kg de 8 diferentes tipos de borracha natural;
- 2,5kg de 8 tipos de negro-de-fumo;
- 0,75kg de aço para as cinturas;
- 0,50kg de poliéster e náilon;
- 0,25kg de arames de aço;
- 1,5kg de diferentes tipos de produtos químicos, óleos, pigmentos etc.

São dois os métodos de incorporação da borracha triturada de pneus às misturas asfálticas: o processo úmido – *wet process* e o processo seco – *dry process*. No processo úmido (FIGURA 5.0), a borracha finamente triturada é adicionada ao CAP aquecido, produzindo ligante modificado, que tem sido denominado de asfalto-borracha – *asphalt rubber*, em inglês. O asfalto-borracha pode ser utilizado em serviços de pavimentação, como: concreto asfáltico (CA), *Stone Matrix Asphalt* ou *Stone Mastic Asphalt* (SMA), Camada Porosa de Atrito (CPA), tratamentos superficiais (TS), selagem de trincas e de juntas. No processo úmido, o pó de pneus representa em geral 15 a 20% da massa de ligante ou menos que 1,5% da massa total da mistura (BERNUCCI *et al.*, 2010).

Ainda segundo Bernucci *et al.*, (2010), o asfalto-borracha estocável (terminal blending) deve ser processado em altas temperaturas por agitação em alto cisalhamento. Obtém-se assim a despolimerização e a desvulcanização da borracha de pneu, permitindo a reação da borracha desvulcanizada e despolimerizada com moléculas do CAP, o que resulta em menor viscosidade do produto.

Figura 5.– Esquema de fabricação do asfalto-borracha via úmida pelo processo de mistura estocável



Fonte: Bernucci *et al.*, (2010).

De acordo com Bertollo (2003) e Morilha (2004), o ligante modificado por borracha moída de pneus por via úmida, dependendo do seu processo de fabricação, pode ser estocável ou não-estocável. O sistema não-estocável é conhecido como *continuous blending* e é produzido com equipamento misturador na própria obra e, nessa condição, deve ser aplicado imediatamente devido à sua instabilidade e, assim, apresenta algumas características diferentes do asfalto-borracha estocável. O sistema estocável, conhecido como *terminal blending*, é preparado com borracha moída de pneus finíssima (partículas passantes na peneira nº 40) e devidamente misturado em um terminal especial, produzindo um ligante estável e relativamente homogêneo, posteriormente transportado para cada obra.

Esse sistema, quando comparado com o sistema *continuous blending*, permite uma economia de tempo e de custos já que o ligante asfáltico modificado é produzido e transportado para várias obras ao mesmo tempo, enquanto no sistema *continuous blending* cada obra deve possuir um equipamento de fabricação de asfalto-borracha. Além disso, o controle de qualidade do asfalto-borracha fabricado em um terminal é mais acurado e confiável.

Há também o processo de mistura via úmida imediatamente antes da usinagem em equipamentos especiais, que são acoplados às usinas de concreto asfáltico, e só se adiciona a borracha moída ao CAP minutos antes de ele ser incorporado ao agregado. O asfalto-borracha obtido pelo processo imediato, chamado de não-estocável ou *just-in-time*, conduz a um inchamento superficial da borracha nos maltenos do CAP o que permite o uso de borracha com maior tamanho de partícula e aumento da viscosidade (BERNUCCI *et al.*, 2010).

No processo seco, a borracha triturada entra como parte do agregado pétreo da mistura e juntamente com o ligante asfáltico dá origem ao produto "agregado-borracha" ou concreto asfáltico modificado com adição de borracha – *rubber modified asphalt concrete* (RUMAC). A mistura modificada com adição de borracha via seca só deve ser utilizada 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 (SPECHT, 2004; PATRIOTA, 2004; PINHEIRO, 2004).

6 VANTAGENS E OBJETIVOS DA APLICAÇÃO DO ASFALTO-BORRACHA EM RELAÇÃO AO PAVIMENTO CONVENCIONAL

Segundo Oda (2000), os objetivos da adição de borracha de pneus usados em ligantes asfálticos e misturas betuminosas são:

- Minimizar o problema da disposição de pneus usados, pois em aterros sanitários ocupam muito espaço, e quando dispostos em locais inadequados, causam problemas ambientais e de saúde pública por facilitar a procriação de insetos e outros vetores de doença;
- Melhorar o desempenho dos pavimentos mediante aumento na rigidez a elevadas temperaturas (reduzindo a deformação permanente nas trilhas de roda), aumento

na flexibilidade (retardando o aparecimento de trincas), aumento na impermeabilização proporcionada pelos revestimentos asfálticos e utilização como selante de trincas existentes.

Segundo dados da empresa Greca Asfaltos, com a adição da borracha moída do pneu na composição do asfalto, podemos citar alguns benefícios ecológicos e sociais gerados (TABELA 1.0).

Tabela 1 – Benefícios ecológicos e sociais com a utilização do asfalto borracha

Benefícios ecológicos e sociais com a utilização do asfalto borracha
Surgimento e fortalecimento de empresas especializadas – a oportunidade de criação de novas empresas e fortalecimento das existentes no ramo de reciclagem de pneus para a comercialização para as que produzem asfalto borracha;
Criação de novos empregos – diretos nas empresas recicladoras e indiretos ligados no recolhimento do pneu inservível, além de criar novas fontes de tributos o que beneficia o setor público e em contrapartida toda a população;
Redução de locais para a proliferação de insetos – prejudiciais à saúde a até letais ao ser humano, além de um alto custo aos cofres públicos para manter um programa de combate ao mosquito da dengue, além de reduzir a poluição visual causada pelo descarte de pneus em locais impróprios;
Diminuição de alagamentos em dias de intensa chuva – menor obstrução em rios, lagos, causados pelo indevido descarte de pneus;
Diminuição dos riscos de incêndios – menor deposição de pneus, sob qualquer formato em aterros sanitários e depósitos, reduz do risco de incêndios incontroláveis;
Redução da demanda de petróleo - substituição de parte do asfalto por borracha moída de pneus e pela maior durabilidade que será alcançada na vida útil de nossas estradas. Não esquecendo que o petróleo, e por consequência o asfalto, é uma fonte não renovável de energia.

Fonte: Greca Asfaltos (2019).

Já Oda (2000), apresenta vantagens técnicas previstas com a utilização do asfalto-borracha:

- Redução do envelhecimento – a presença de antioxidantes e carbono na borracha dos pneus que é incorporada ao cimento asfáltico proporciona uma redução do envelhecimento por oxidação;
- Aumento da flexibilidade – em virtude da maior concentração de elastômeros na borracha de pneus, as misturas asfálticas com o ligante asfalto-borracha são mais flexíveis que as misturas asfálticas convencionais;
- Aumento do ponto de amolecimento – a adição de borracha faz com que o ponto de amolecimento do ligante asfalto-borracha aumente até 17°C em rela-

- ção ao do ligante convencional, o que significa um aumento da resistência ao acúmulo de deformação permanente nas trilhas de rodas;
- Redução da susceptibilidade térmica – o uso de um ligante asfalto-borracha proporciona misturas asfálticas mais resistentes as variações de temperatura, ou seja, tanto o desempenho a baixas quando a altas temperaturas são melhores quando comparados com pavimentos construídos com ligante asfáltico convencional.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante da qualidade atual de nossas rodovias e vias urbanas, têm-se como necessidade um investimento em misturas asfálticas com durabilidade e resistência maior. A incorporação de ligantes modificados a essas misturas, apresentam-se como uma interessante alternativa. A tecnologia com a adição de borracha moída de pneus surge como destaque, visto que foi desenvolvida ao longo dos anos, para proporcionar um ótimo desempenho físico, além do enorme apelo ecológico, por conta de um grande problema ambiental atual, o descarte ilegal de pneus inservíveis.

Com a utilização desta técnica, além de aumentar a durabilidade, o custo de pavimentação também é diminuído e reduz-se pela metade a espessura do asfalto aplicado, a brita utilizada, energia elétrica, o transporte da massa e a compactação, além do tempo maior para um possível reparo. Tal redução traz um ganho considerável diante desta tecnologia ecologicamente correta. A estimativa é que cada quilômetro pavimentado com asfalto-borracha, 500 pneus inservíveis são utilizados.

REFERÊNCIAS

BALBO, Jose Tadeu. **Pavimentação asfáltica**: materiais, projeto e restauração. São Paulo: Oficina de Textos, 2007

BEDUSCHI, Eliane Fátima Strapazzon. **Utilização de pneus inservíveis na composição da massa asfáltica**. Universidade do Oeste de Santa Catarina, 2010.

BERNUCCI, Liedi Bariani; CERATTI, Jorge Augusto Pereira; MOTTA, Laura Maria Goretti da; SOARES, Jorge Barbosa. **Pavimentação asfáltica, Formação básica para engenheiros**. 3. Reimpressão, Rio de Janeiro: Petrobras, Abeda, 2010.

BERTOLLO, Sandra Aparecida Margarido; FERNANDES JÚNIOR, José Leomar; VILLAVERDE, Romulo Barroso; MIGOTTO FILHO, Delchi. Pavimentação asfáltica: uma alternativa para a reutilização de pneus usados. **Revista Limpeza Pública**, São Paulo, ABLP, n. 54, p. 23-30, 2000.

BERTOLLO, Sandra Aparecida Margarido. **Avaliação laboratorial de misturas asfálticas densas modificadas com borracha reciclada de pneus**. 2003. 198 f. Tese

(Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

CERATTI, Jorge Augusto Pereira; REIS, Rafael Marçal Martins de. **Manual de dosagem de concreto asfáltico**. Oficina de textos, 2011.

EPA. **Summary of Markets for Scrap Tires**. U.S. Environmental Protection Agency. 1991.

GOODYEAR. **Charles Goodyear and the Strange Story of Rubber**. Disponível em: <https://corporate.goodyear.com>. Acesso em: 8 maio 2019.

GRECA ASFALTOS. Disponível em: <http://www.grecaasfaltos.com.br>. Acesso em: 7 maio 2019.

HEITZMAN, Michael. **Design and construction of asphalt paving materials with crumb rubber modifier**. Transportation Research Record 1339, TRB. National Research Council. Washington, D.C., 1992.

JARDIM, Niza Silva *et al.* **Lixo municipal**: manual de gerenciamento integrado. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, CEMPRE, 1995.

MORILHA JR., Armando; GRECA, Marcos Rogério. Considerações relacionadas ao asfalto ecológico – Ecoflex. **Apostila sobre Asfalto Borracha**, Instituto de Engenharia do Paraná – IEP, 68 p., 2003.

ODA, S. **Análise da viabilidade técnica da utilização do ligante asfalto-borracha em obras de pavimentação**. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2000.

SENÇO, Wlastermiler de. **Manual de técnicas de pavimentação**. 2. ed. São Paulo: Pini, 1997. Volume I.

SILVA, João Paulo Souza. **Asfalto borracha**: a alternativa ecológica para reutilização de pneus usados. 2007.

ZANZOTTO, Ludo; KENNEPOHL, Gerhard. Development of rubber and asphalt binders by depolymerization and devulcanization of scrap tires in asphalt. Transportation Research Record 1530. TRB. **National Research Council**, Washington, D.C., p 51-58, 1996.

Data do recebimento: 7 de Novembro de 2021

Data da avaliação: 10 de Dezembro 2021

Data de aceite: 10 de Dezembro de 2021

1 Acadêmico do Curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Tiradentes – UNIT.

E-mail: henriquefmendes18@gmail.com

2 Acadêmico do Curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Tiradentes – UNIT.

E-mail: jonas_lima44@hotmail.com

3 Acadêmico do Curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Tiradentes – UNIT.

E-mail: henriquedvc@hotmail.com

4 Professor do Curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Tirantes – UNIT. Graduado em Engenharia Civil – UFAL, Mestre em Engenharia Civil – UFAL. E-mail: rdcjonas@hotmail.com