



**FACULDADE DE EXCELÊNCIA UNEX E JEQUIÉ
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**UTILIZAÇÃO DA BORRACHA COMO MATÉRIA PRIMA PARA PAVIMENTAÇÃO
ASFÁLTICA: UMA ANÁLISE DA MELHORIA NAS PISTAS DE ROLAMENTO**

**USE OF RUBBER AS RAW MATERIAL FOR ASPHALT PAVEMENT: AN ANALYSIS
OF IMPROVEMENT IN ROADWAY SURFACES**

Hiago Silva Dias¹

Oseias Santana Trindade²

Eder Bruno Santana de Mendonça³

RESUMO:

A utilização da borracha como matéria-prima para pavimentação asfáltica tem se mostrado uma alternativa promissora e inovadora para melhorar as pistas de rolamento. Tradicionalmente, o asfalto é composto por agregados minerais, ligantes asfálticos e aditivos, mas a inclusão de borracha reciclada proveniente de pneus usados tem ganhado destaque como uma opção sustentável e eficiente. Existem várias vantagens associadas à utilização da borracha na pavimentação asfáltica. Primeiramente, ela contribui para a sustentabilidade ambiental, uma vez que os pneus descartados representam um problema de resíduos sólidos. Ao incorporar a borracha na produção do asfalto, é possível reduzir a quantidade de pneus descartados em aterros sanitários e, conseqüentemente, diminuir os impactos ambientais. A metodologia que será utilizada neste trabalho envolve um levantamento sistemático da literatura, com busca em periódicos científicos, teses, dissertações e resumos de congressos publicados entre 2015 e 2023. Serão analisadas as vantagens e desvantagens do uso de pneus descartados como matéria-prima para o asfalto-borracha a utilização da borracha na pavimentação asfáltica traz vantagens tangíveis para as pessoas, incluindo maior conforto, segurança, redução de ruído, menor necessidade de manutenção, benefícios ambientais e econômicos. Essa abordagem inovadora pode melhorar significativamente a qualidade das vias e estradas, tornando a experiência de dirigir e viajar mais agradável e segura para todos.

Palavras-chave: Borracha De Pneus Irreversível; Pavimentação Asfáltica; Asfalto-borracha; Reciclagem De Pneus.

¹ Discente do curso de Hiago Silva Dias do Centro Universitário Unex de Jequié (Unex JEQ), email: hiagos692@gmail.com

² Discente do curso de Oseias Santana Trindade do Centro Universitário Unex de Jequié (Unex/JEQ), e-mail: oseiasst2001@hotmail.com.

³ Professor Orientador do Centro Universitário Unex de Feira de Santana (Unex/FSA), Engenheiro Civil de Pavimentação Asfáltica, e-mail: eder.mendonca@ftc.edu.br

ABSTRACT

The use of rubber as a raw material for asphalt paving has proven to be a promising and innovative alternative for improving roadways. Traditionally, asphalt is composed of mineral aggregates, asphalt binders and additives, but the inclusion of recycled rubber from used tires has gained prominence as a sustainable and efficient option. There are several advantages associated with the use of rubber in asphalt paving. First, it contributes to environmental sustainability, as discarded tires represent a solid waste problem. By incorporating rubber in asphalt production, it is possible to reduce the amount of tires discarded in landfills and, consequently, reduce environmental impacts. The methodology that will be used in this work involves a systematic literature survey, searching scientific journals, theses, dissertations and conference abstracts published between 2015 and 2023. The advantages and disadvantages of using discarded tires as raw material for the rubber-asphalt the use of rubber in asphalt paving brings tangible benefits to people, including greater comfort, safety, noise reduction, less need for maintenance, environmental and economic benefits. This innovative approach can significantly improve the quality of roads and roads, making the driving and traveling experience more enjoyable and safer for everyone.

Keywords: Irreversible Tire Rubber; Asphalt paving; Asphalt-rubber; Tire Recycling.

1. INTRODUÇÃO

A utilização de borracha de pneus descartados como matéria-prima para pavimentação asfáltica tem sido uma alternativa sustentável e economicamente viável para a reciclagem de resíduos sólidos. Além disso, estudos têm apontado melhorias nas propriedades do asfalto modificado com borracha, tais como aumento da resistência à deformação permanente e da vida útil das pistas de rolamento (KALYANARAMAN et al., 2015).

No Brasil, há quase 14 anos já é possível trafegar por trechos de rodovias com asfalto-borracha. Em 2001, após pesquisas, houve a primeira utilização do AMB1 no Brasil, que ocorreu em 17 de agosto, no km 319 da BR 116, rodovia sob concessão da Univas. O trecho escolhido fica em Guaíba e Camaquã, no Rio Grande do Sul (GRECA ASFALTOS, 2011).

Segundo o relatório da Associação Nacional de Fabricantes de Pneus dos Estados Unidos (NHTSA), cerca de 300 milhões de pneus são descartados anualmente nos Estados Unidos. A falta de destinação adequada para esses resíduos pode causar danos ambientais significativos, como acúmulo de água e proliferação de mosquitos transmissores de doenças, mais de 450 mil toneladas de pneus são

descartadas por ano no Brasil, o equivalente a 90 milhões de unidades no tamanho comum. Feitos em borracha, derivados de petróleo e diversos produtos químicos, esses materiais levam cerca de 600 anos para se decompor, na natureza.

Nesse contexto, o uso de borracha reciclada como aditivo para pavimentação asfáltica tem se destacado pela sua sustentabilidade. Um estudo publicado no *Journal of Materials in Civil Engineering* realizado por KALYANARAMAN et al. (2015) verificou que o asfalto modificado com borracha apresentou melhora significativa em relação ao asfalto convencional, em termos de desempenho mecânico e durabilidade.

A pavimentação tem uma grande importância para a população pois ela traz segurança e qualidade de vida todos os dias, temos que nos locomover para cumprirmos os nossos afazeres, seja no trabalho, na escola ou para se divertir. É nesse momento que a pavimentação entra em nossas vidas. E reutilizando os pneus baixaria o custo e além de contribuir na sustentabilidade ambiental, e uma pavimentação de qualidade influencia no cotidiano da cidade tornando o deslocamento confortável, seguro e rápido, segundo Beduschi (2014)

A Resolução CONAMA 416/09 informa, no art. 15, que a destinação final de pneus no meio ambiente é claramente proibida, principalmente em corpos d'água, terrenos baldios e aterros sanitários. Em outras palavras, trata-se de resíduos difíceis de manusear, por isso a sociedade deve pensar em um modo de eliminá-los corretamente (ALVES et al., 2015). A possibilidade de se reaproveitar tais pneus tem-se constituído em todo o planeta, em um desafio árduo, decorrente de suas particularidades relacionadas a sua durabilidade.

Existem dois processos de adição da borracha moída para modificação de misturas asfáltica: o processo úmido, que pode ser executado por dois métodos, terminal blend e continuous blend, e o processo seco.

O processo seco, conforme Martins (2004), é indicado para misturas asfálticas a quente, podendo ser do tipo aberta ou mesmo fechada, todavia, o profissional responsável deve levar em consideração que o mesmo não pode ser agregado em outros tipos de pavimentos como as misturas asfálticas a frio, fechamento de trincas ou tratamentos superficiais.

Já o sistema úmido é aquele em que as partículas de borracha são incorporadas ao cimento asfáltico, antes deste ser adicionado ao agregado. Além

disso, é importante informar que este método pode ser empregado em misturas asfálticas quentes, capas selantes, tratamentos superficiais, membranas absorvedoras de tensão, selamento de trinca, entre outros (MARTINS, 2004). Bertollo *et al.* (2000) informam que, no Brasil, o processo de via úmida é o mais utilizado, estando inclusive descrito no DNIT 111/2009.

Este autor ainda relata que o sistema estocável, que é conhecido como Terminal Blending, consiste na mistura de partículas finas de borracha moída em um terminal especial, aproximadamente o diâmetro de 1,5mm a 3mm. Como consequência, o material se torna homogêneo, permitindo assim a sua estocagem (Figura 1). No processo Terminal Blending, a borracha será devidamente misturada ao ligante em elevadas temperaturas (maiores que 177 °C) por agitação em alto cisalhamento e, como resultado, teremos uma mistura menos viscosa (BERTOLLO *et al.*, 2000)

Dessa forma, o presente artigo tem como objetivo analisar a utilização da borracha como matéria-prima para pavimentação asfáltica e verificar a melhoria nas propriedades do asfalto modificado com borracha. Realizando comparativos entre o asfalto convencional e o asfalto borracha demonstrando a eficácia desta alternativa na pavimentação de vias.

2 - METODOLOGIA

A metodologia que será utilizada para elaboração deste trabalho será levantamento sistemático da literatura, por meio da análise documental de experiências nacionais, sendo as principais fontes consultadas para a elaboração da revisão artigos em periódicos científicos, google acadêmico, teses, dissertações e resumos em congresso publicados, com publicações entre 2015 - 2023.

Quadro 1 – Estudos sobre benefícios da utilização da borracha no processo de pavimentação.

Autores	Ano	Título	Benefícios Demonstrados
Akisetty et al.	2020	Comparative study on performance characteristics of crumb rubber modified bitumen with conventional bitumen.	– Melhoria nas propriedades mecânicas do asfalto – Redução de trincas e fissuras – Aumento da resistência à fadiga e deformação permanente
Tavakoli et al.	2019	The effect of waste tire rubber on the mechanical properties and moisture susceptibility of asphalt mixtures.	– Maior aderência do pavimento – Redução de ruídos durante o tráfego – Uso eficiente de borracha reciclada na pavimentação
Abdolhosseini et al.,	2017	Noise and texture performance of rubber-modified porous asphalt mixture.	– Desempenho positivo na absorção de impactos – Redução da geração de ruídos durante o tráfego
Cui et al.	2021	Evaluation of Polymer-Modified Asphalt Mixtures for Sustainable Pavement Applications.	– Melhoria na resistência à fadiga do asfalto

			– Aumento da vida útil do pavimento
Filho et al.,	2021	Warm Mix Asphalt: Sustainable Technology for Pavement Construction.	– Tecnologia sustentável para a construção de pavimentos – Redução do consumo de energia e emissões de gases poluentes

Fonte: CRUZ et al. (Modificado), 2023.

Para a busca de artigos nos periódicos será realizada com as seguintes palavras chaves: Reutilização da borracha de pneus irreversíveis, asfalto-borracha e pavimentação asfáltica utilizando borracha de pneu, na qual selecionará os artigos que tiverem relação direta com a pergunta de pesquisa e os artigos que não tiverem relação direta serão descartados.

Sistematizar as informações levantadas identificando as vantagens e desvantagens com o uso de pneus irreversíveis como matéria prima para fabricação do asfalto-borracha e seu método de fabricação.

2.1- Reciclagem de Borracha de Pneus

Nos últimos anos a discussão sobre reciclagem têm-se mantido no topo do desenvolvimento sustentável, no entanto, não é qualquer desenvolvimento que interessa, mas aqueles que satisfaça as atuais necessidades econômicas e sociais, sem que este comprometa o equilíbrio ambiental das gerações futuras, de modo a permitir-lhes continuar a desenvolver e adaptar os recursos disponíveis às suas necessidades previsíveis ou acidentais (DONATO et al., 2015).

Entretanto, surge o desafio da reciclagem de resíduos sólidos, esse é um dos problemas mais difíceis de serem resolvidos em todo o mundo dado o crescimento sem precedentes da população e consequentemente o aumento desenfreado do

descarte desses tipos de resíduos. Segundo MELLONE (2013), com a crescente preocupação com a sustentabilidade das cadeias de suprimentos industriais, os organismos governamentais e o setor privado estão elevando os esforços para melhorar a gestão dos resíduos sólidos. Dentro desse contexto, o pneu de borracha constituiu uma grande parte dos resíduos sólidos de difícil reutilização, por esse motivo, transformou-se em uma preocupação ambiental mundial.

Para Henkes e Rodrigues (2015), todos os envolvidos na utilização dos pneus devem adotar medidas para a correta destinação dos pneus após sua vida útil, seja ele consumidor, fabricantes e ou importadores de pneus, para assim preservar a saúde pública e o meio ambiente, havendo também uma economia de matéria prima utilizada na confecção de pneus novos.

Ainda de acordo Henkes e Rodrigues (2015), a reutilização das carcaças dos pneus para veículos de diversos portes, tem sido a recauchutagem, a remoldagem e a recapagem como forma de minimizar os impactos causados pelo descarte incorreto desses pneus que conseqüentemente acaba também se tornando uma forma de reduzir os custos gastos com pneus novos.

Vale ressaltar também, que na pavimentação convencional, com concreto asfáltico, cerca de 90% do peso da mistura é de agregados, esses, quando naturais, são extraídos de jazidas que exploram e degradam o meio ambiente (LINO; MOURA, 2022).

Logo, a utilização do pneu irreversível porque a presença dos grãos de borracha ajuda a aumentar a elasticidade e a flexibilidade do pavimento, tornando-o mais resistente a trincas e deformações causadas pelo tráfego intenso e variações de temperatura. Contudo para substituição desses agregados, torna-se uma alternativa sustentável, pesquisas já mostram resultados satisfatório nessa substituição por reciclados na pavimentação asfáltica que, além de evitar a exploração e degradação do meio ambiente, também reduzem áreas de aterros e ampliam as técnicas de reciclagem de resíduos (OLIVEIRA; MATUTI, 2018).

2.2 - Aplicação de Borracha de Pneus irreversíveis na Construção Civil

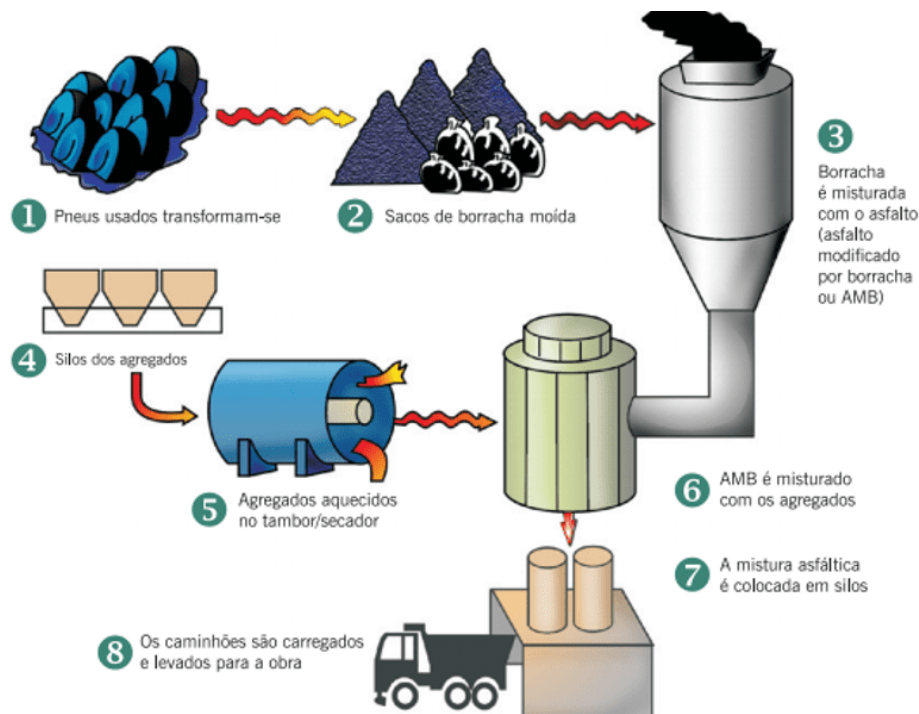
Atualmente houve um aumento nos investimentos para reutilização da borracha de pneus irreversíveis (BPI), centros de pesquisa, organizações não governamentais e fabricantes de pneus têm aportado investimentos em novas alternativas para o uso sustentável correto para esse tipo de matéria prima, o investimento se dar pela urgente necessidade da preservação do meio ambiente, desta forma (COLLINS et al., 2019).

Os pesquisadores buscam alternativas para a aplicação do pneu inservível, de maneira sustentável nos diversos setores da sociedade e principalmente pelo grande potencial de aplicação na construção civil (COLLINS et al., 2019).

Para Zatarin et al. (2016), o reaproveitamento da BPI como matéria prima, que de outra forma, seriam considerados apenas rejeitos, representa o principal incentivo às tentativas de incorporação dos resíduos de borracha provenientes de pneus na construção e reforma de estradas em diversos países.

Ainda de acordo com os autores, o asfalto-borracha é elaborado com o preparo da mistura asfáltica aproveitando resíduos sólidos, provenientes do descarte de pneus, segundo a figura 1.

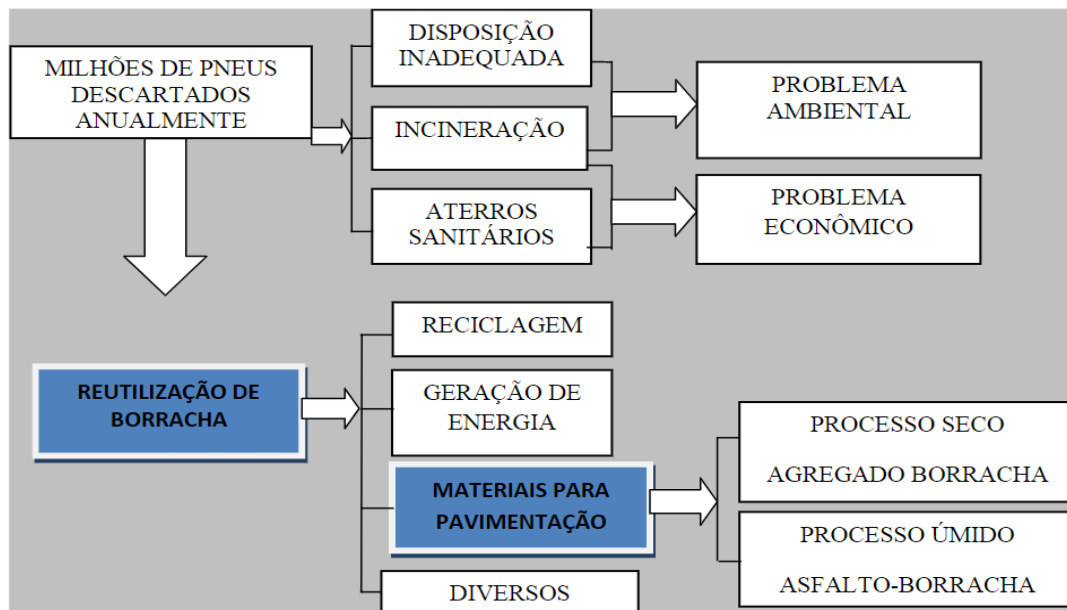
Figura 1. Etapas do processo úmido (Terminal Blending)



Fonte: BERNUCCI et al., 2008.

De acordo as análises das pesquisas investigadas pelos autores, a mistura asfáltica utilizando os pneus demonstrou uma melhora significativa na resistência, permeabilidade e aderência das pistas de rolamento, mantendo a aplicabilidade das técnicas e equipamentos tradicionais para execução do concreto asfáltico, prolongando a vida útil e reduzindo os custo com manutenção

Figura 2: Esquema do reaproveitamento de pneus irreversíveis descartados.



Fonte: Oda (2000)

Oda (2000) *apud* ZATARIN et al. (2016), apresenta através da Figura 2, um fluxograma de reaproveitamento de pneus descartados, suas consequências diante do meio ambiente e os possíveis modos de reutilização.

Henkes e Rodrigues (2014), afirma que umas das principais vantagens na reciclagem da BPI é o efeito preponderante que esse material tem em aumentar a resistência à deformação e ao aparecimento de trincas por fadiga do pavimento, prolongando ainda mais o tempo de vida útil das pistas e rodovias.

2.3 - Mistura Asfalto-borracha

No processo úmido de fabricação asfalto-borracha ocorre através da mistura de cimento asfáltico e borracha moída (5 a 25% do peso total de ligante-asfalto mais borracha), a uma temperatura relativamente elevada, em torno de 150 a 200 graus Celsius, durante um determinado período (de 20 a 120 min) (LINO et al., 2022).

Posteriormente, essa substância misturada é classificada como uma reação e forma um composto chamado asfalto-borracha, com propriedades diferentes do ligante original (ligante betuminoso), podendo ainda ser incorporados aditivos, para ajustar a viscosidade da mistura de acordo a sua aplicabilidade (LINO et al., 2022).

O grau de modificação do ligante depende de vários fatores, incluindo o tamanho e a textura da borracha, a proporção de cimento asfáltico e borracha, o tempo e a temperatura de reação, entre outros. Os materiais utilizados na mistura são: borracha de pneus descartados moída e cimento asfáltico de petróleo (ODA; FERNANDES JÚNIOR, 2001).

Já no processo de fabricação a seco, a borracha é introduzida diretamente nas usinas de asfalto juntamente ao processo de preparação da mistura asfáltica, adicionando as partículas secas de borracha granulada aos agregados minerais pré-aquecidos. Neste processo, os pedaços sólidos de borracha são adicionados, como substituição entre 3 e 5 % da massa total de agregado, com partículas entre 1,6 e 6,4

mm, sendo posteriormente adicionado o ligante betuminoso a esta composição final (LINO et al., 2022).

Com isso, a quantidade de borracha consumida, nesse processo, chega a ser 2 a 4 vezes maior que no processo úmido. As principais diferenças entre os dois processos consistem no tamanho das partículas de borracha, a quantidade de borracha, a função de borracha, e instalação da incorporação desse material. O processo seco apresenta algumas vantagens, em relação ao processo úmido, principalmente em relação aos custos envolvidos e com a maior quantidade de borracha que se utilizará, logo, mais pneus serão reciclados pelo processo a seco (ZATARIN et al., 2016; LINO et al., 2022)

3- RESULTADOS E DISCUSSÕES

No entanto, ainda de acordo com LINO et al. (2022), no primeiro momento de aplicação da BPI na mistura asfáltica, ocorre uma redução de cerca de 40% na resistência à tração e uma redução do módulo de resiliência, quando comparados a uma mistura convencional.

Sendo o módulo de resiliência aquele que mede o comportamento resiliente dos materiais, ou seja, sua capacidade de recuperar deformações sofridas, o asfalto-borracha perde por possuir alta viscosidade da mistura e do teor do ligante, o que aumenta sua flexibilidade (LINO et al., 2022).

Diante disso, o que ocorre aparentemente é que a vida útil do asfalto-borracha parece ser comprometida por esses fatores. No entanto, à medida que as misturas asfálticas envelhecem, a resistência mecânica aumenta, a flexibilidade reduz, e o asfalto-borracha aumenta seu módulo de resiliência e, conseqüentemente, melhora sua vida útil (VUCOVIC, 2021).

Tabela 1 -

Indicadores de Desempenho	Opiniões dos Autores

Durabilidade	Autores concordaram que o AB apresentou melhor durabilidade, apresentando menos fissuras e deformações após cinco anos de uso (Akisetty et al., 2020).
Resistência à Deformação	Autores relataram que o AB exibiu resistência superior à deformação permanente, mostrando menos trilhas de roda e deformações em comparação ao AT (Akisetty et al., 2020).
Aderência	Todos os autores concordaram que o AB oferece maior aderência à superfície de rodagem, especialmente em condições molhadas, contribuindo para a segurança viária (Kim et al., 2021).
Redução de Ruídos	Autores relataram que o AB apresentou resultados superiores na redução de ruídos do tráfego, proporcionando uma condução mais silenciosa e confortável (Tavakoli et al., 2019).
Redução de Vibrações	Os autores destacaram a capacidade do AB em absorver vibrações, resultando em uma experiência de condução mais suave e reduzindo a fadiga dos usuários das vias (Tavakoli et al., 2019).

Fonte: CRUZ et al. (Modificado), 2023.

Em uma pesquisa realizada por Catapreta, Zambiasi e De Jesus Loyola (2016) no município de Belo Horizonte - MG, os autores avaliaram a incorporação de borracha de pneus em ligantes asfálticos utilizados em obras de pavimentação dentro

da engenharia civil, buscando a compreensão da reutilização e reciclagem da borracha de pneus inservíveis como insumo de pavimentação, os autores concluíram que as misturas analisadas apresentaram resultados satisfatórios.

Ainda de acordo os autores supracitados a utilização da borracha de pneus irreversíveis BPI nas misturas asfálticas apresentou um desempenho superior com relação ao aumento no ponto de amolecimento chegando a um índice de 65,1 °C, uma redução na penetração a 52 °C e suportando uma carga de até 203,2 MPa, garantindo ao asfalto maior resistência, deformação e durabilidade, que pode chegar a ser 10 vezes maior que o asfalto convencional.

Sendo assim, pode-se notar que o asfalto-borracha apresenta características importantes para aplicação em rodovias e/ou estradas, sendo bastante flexível e elástico permitindo que o asfalto-borracha se movimente com as cargas dos veículos, esses movimentos fazem com que não sejam geradas as trincas, ficando um pavimento mais resistente e durável, demonstrando seu potencial em ser um material alternativo e viável para aplicação sustentável, resolvendo um grande problema ecológico envolvendo o descarte de pneus, além de melhorar muito as propriedades e o desempenho do revestimento asfáltico (CATAPRETA, ZAMBIASI, DE JESUS LOYOLA, 2016).

Segundo Mendes e Nunes (2009) aponta que a durabilidade é o dobro daquelas encontrada no asfalto comum, além do retardamento da reflexão de trincas, aplicação do ligante na pavimentação chega a ser 3 vezes menor que nos pavimentos convencionais, ou seja, as trincas levam 3 vezes mais tempo para aparecer nos pavimentos asfalto borracha. O asfalto borracha também é conhecido por reduzir a geração de ruídos durante o tráfego, contribuindo para uma melhor qualidade de vida nas áreas urbanas (Abdolhosseini et al., 2017).

De acordo os estudos de Teixeira e Araújo (2018), a execução e obtenção da matéria prima do asfalto-borracha é mais cara que a do asfalto convencional, mas, devido a sua durabilidade e baixa necessidade de manutenção, os autores concluíram que o asfalto-borracha tem grande viabilidade econômica, principalmente pela sua durabilidade, que ao final é mais vantajosa quando comparado ao asfalto convencional, ainda segundo os estudos realizados as vantagens estruturais e

ecológicas corroboram em favor do custo-benefício da BPI na fabricação do asfalto-borracha.

Observa-se na Tabela 2, os custos por tonelada da produção do asfalto. No que tange ao Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) com Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP), percebe-se um valor menor que o CBUQ com asfalto-borracha.

Tabela 2 – Comparação do revestimento CBUQ Convencional x revestimento CBUQ com asfalto borracha

CBUQ com CAP 50/70	R\$ 1,1 mil por tonelada
CBUQ com Asfalto-borracha	R\$ 1,4 mil por tonelada

Fonte: REZENDE, 2011.

Mendes (2019), chegou na mesma conclusão através de um estudo um pouco mais complexo comparado com os estudos realizados por Teixeira e Araújo (2018), Mendes confirma que os custos iniciais são maiores quando empregado o asfalto-borracha comparado com os custos do concreto convencional, porém, esses custos são compensados pelo baixo custo de manutenção ao longo da vida útil do pavimento e na diminuição das emissões de dióxido de carbono, trazendo grandes benefícios para o meio ambiente, logo, torna-se um diferencial importante.

Além disso, o autor percebeu que a utilização do asfalto-borracha pôde retirar aproximadamente 4 mil pneus por quilômetro das ruas pavimentadas. Essa quantidade de pneus levaria 600 anos para se decompor naturalmente na natureza, se descartados corretamente, o que, no entanto, nem sempre acontece, com a utilização dessa matéria prima pode também reduzir os gastos com saúde pública.

Em uma outra pesquisa realizada em Alta Floresta – MT, os autores Rodrigues e Rodrigues (2022), concluíram que o tempo de vida útil do asfalto-borracha utilizado na pavimentação de algumas vias da cidade, bem como em algumas rodovias

trouxeram diversas vantagens econômicas e de conservação do meio ambiente, além da economia com manutenção após um tempo de estabilidade do asfalto.

4 – CONCLUSÃO

Com o notório avanço da construção civil, surge também a necessidade do desenvolvimento de novos métodos construtivos, que inovem e utilizem a tecnologia a seu favor, buscando qualidade e melhor desempenho nos processos, sendo necessários métodos que possam diminuir os impactos ambientais com foco na sustentabilidade.

Com base em toda pesquisa, os benefícios do asfalto borracha são evidentes em termos de maior durabilidade e resistência, redução de ruídos e vibrações, aderência e segurança viária, além de sua sustentabilidade econômica a longo prazo.

Um ponto muito importante é sobre seus custos de produção serem mais elevados que os asfaltos convencionais, porém se ganha em resistência e período sem manutenção, evitando problemas estruturais nas camadas de pavimentação, contudo é muito bom para as vias do Brasil que demanda bastante manutenção de rodovias e estradas.

A incorporação de grânulos de borracha reciclada na pavimentação de vias representa uma prática sustentável que desempenha um papel fundamental na preservação dos recursos naturais e na redução do impacto ambiental. Ao utilizar materiais reciclados, estamos contribuindo ativamente para uma gestão inteligente e responsável dos recursos, reduzindo o uso de matérias primas virgens. Além disso, a reutilização da borracha não apenas minimiza a quantidade de resíduos descartados, mas reduz a pegada de carbono associada à produção de materiais convencionais.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, D. L.; BARBOSA, Maria de Fátima Nóbrega; BARBOSA, Erivaldo Moreira. Reciclagem: o caminho para o desenvolvimento sustentável. **Polêmica**, v. 15, n. 2, p. 023-034, 2015.

CATAPRETA, C. A. A.; ZAMBIASI, C. A.; DE JESUS LOYOLA, L. A. Uso da borracha de pneus na pavimentação como uma alternativa ecologicamente viável. In: **VII Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental Campina Grande/PB– 21 a. 2016.**

COLLINS, N. P. *et al.* REUTILIZAÇÃO DE PNEUS INSERVÍVEIS: UMA PROPOSTA ECOLÓGICA. **Revista Multidisciplinar Pey Këyo Científico-ISSN 2525-8508**, v. 4, n. 2, 2019.

CRUZ, F. P. *et al.* **TECNOLOGIA SUSTENTÁVEL E EFICIENTE: as vantagens do asfalto borracha na pavimentação viária.** Zenodo: Ciências Exatas e da Terra, [S.L.], v. 19, n. 123, p. 123-137, 5 ago. 2023. Zenodo. <http://dx.doi.org/10.5281/ZENODO.8217240>.

HENKES, J. A.; RODRIGUES, C. M. Reciclagem de pneus: atitude ambiental aliada à estratégia econômica. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 4, n. 1, p. 448-473, 2015.

KALYANARAMAN, V. *et al.* Evaluation of crumb rubber modified asphalt pavement in Louisiana. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 27, n. 4, p. 04014129, 2015.

LINO, E. M. R. *et al.* **Reutilização da borracha de pneus descartados para uma melhor resistência e vida útil do asfalto.** Trabalho de Conclusão de Curso – Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PUC). Campos Goiás, 2022.

MELLONE, G; SANTOS, M. R.; SHIBAO, F. Y. Pavimentação de rodovias com a utilização de resíduos de pneus inservíveis. **Revista Eletrônica Gestão e Serviços**, v. 3, p. 489-508, 2013.

MENDES, G. **Viabilidade do asfalto borracha na pavimentação urbana: estudo de caso no Residencial Jardim do Cerrado III, Goiânia, Goiás.** Dissertação de Pós-graduação – Pontifícia Universidade Católica de Goiás. Goiânia (GO), 2019.

MORENO, S. **Brasil descarta, por ano, mais de 450 mil toneladas de pneus,** Brasília, 2022. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/radioagencia-nacional/geral/audio/2022-07/brasil-descarta-por-ano-mais-de-450-mil-toneladas-de-pneus>. Acesso 20/04/2023.

ODA, S.; FERNANDES JR, J. **Viabilidade técnica do uso de ligante asfalto-borracha como material para pavimentação asfáltica.** In: Reunião Anual de Pavimentação, v. 32, 2001, Florianópolis (SC). Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/001259062>. Acesso 19/04/2023.

OLIVEIRA, B.; MATUTI, B. A utilização de resíduos classe A na pavimentação. **Revista Científica Semana Acadêmica**, n 141, p. 1-28, 2018.

TEIXEIRA, L.; ARAUJO, O. **Estudo das vantagens do asfalto-borracha em relação ao asfalto convencional.** Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade

Evangélica. Anápolis (GO), 2018. Disponível em: <http://repositorio.aee.edu.br/jspui/handle/aee/100>. Acesso 19/04/2023.

VUCOVIC, N. **Avaliação de alternativas para descarte e reuso de pneus: incorporação na massa asfáltica para produção de asfalto borracha**. Trabalho de Conclusão de Curso – Instituto de Ciência e Tecnologia, Universidade de São Paulo. São José dos Campos (SP), 2021.

ZATARIN, A. P. M. et al. Viabilidade da pavimentação com asfalto-borracha. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 5, n. 2, p. 649-674, 2016.

SOUZA, Iago Nascimento Ribeiro Teixeira de. MATA, Mauro Sérgio Santos da. GUEDES, Rudgero Oliveira. **Análise da utilização do asfalto borracha na pavimentação como uma solução técnica e sustentável**. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano. 06, Ed. 12, Vol. 04, pp. 05-19. Dezembro de 2021.