

Análise da viabilidade técnica da utilização de resíduos de borracha de pneus em pavimentos asfálticos

Analysis of the technical feasibility of using waste tire rubber in asphalt sidewalks

DOI:10.34117/bjdv7n11-467

Recebimento dos originais: 12/10/2021

Aceitação para publicação: 25/11/2021

Jessé Bernardo da Silva

Acadêmico de Engenharia Civil da Universidade Nilton Lins, Manaus, Amazonas, Brasil

E-mail: jesse05bernardo@gmail.com

Igor Nonato Almeida Pereira

Engenheiro Civil, Mestre em Engenharia dos Materiais

E-mail: igor.pereira@uniniltonlins.edu.br

Érika Cristina Nogueira Marques Pinheiro

Engenheira Civil, Engenharia de Segurança no Trabalho, Licenciatura em Matemática, Especialista em didática no ensino superior tutoria e docência em EAD

E-mail: erikamarquespinheiro@gmail.com

RESUMO

São produzidos mais de 70 milhões de pneus anualmente, somente no Brasil, onde grande parte são indevidamente descartados no meio ambiente. Nesse contexto, a utilização de resíduos oriundos de processos industriais tais como a recauchutagem vem crescendo no cenário mundial como uma alternativa no reaproveitamento de materiais inservíveis. Com o objetivo de mostrar alternativa para minimização de impactos ambientais e analisar a viabilidade técnica da utilização de resíduos de borrachas de pneus em pavimentos de baixo tráfego. O artigo em questão foi realizado através de um levantamento bibliográfico de caráter descritivo e exploratório, com abordagem qualitativa. Chegando ao resultado que o asfalto borracha tem um custo de implantação superior ao asfalto convencional, porém com todos os benefícios e qualidades o asfalto borracha acaba se tornando economicamente viável a longo prazo, pois seus custos com manutenção e reparo serão menores se comparados ao asfalto convencional. De uma maneira geral pode-se concluir que a utilização da adição de borracha de pneus em ligantes asfálticos aplicados em obras de pavimentação no Brasil se mostra como uma técnica promissora para aumentar a durabilidade de das estradas e ruas.

Palavras-Chave: Pneu, Borracha, Asfalto, Reciclagem, Meio Ambiente.

ABSTRACT

More than 70 million tires are produced annually, in Brazil alone, where most are improperly disposed of in the environment. In this context, the use of waste from industrial processes such as retreading has been growing on the world stage as an alternative in the reuse of unusable materials. With the objective of showing an alternative

to minimize environmental impacts and analyze the technical feasibility of using tire rubber waste on low traffic pavements. The article in question was carried out through a bibliographic survey of descriptive and exploratory character, with a qualitative approach. Coming to the result that rubber asphalt has a higher implantation cost than conventional asphalt, but with all the benefits and qualities the rubber asphalt ends up becoming economically viable in the long run, because its maintenance and repair costs will be lower compared to conventional asphalt. In general, it can be concluded that the use of the addition of tire rubber in asphalt binders applied in paving works in Brazil is a promising technique to increase the durability of roads and streets.

Keywords: Tire, Rubber, Asphalt, Recycling, Environment.

1 INTRODUÇÃO

O pneu, por ser essencial para as atividades da vida moderna, tornou-se um dos produtos de maior consumo no mundo e um dos resíduos mais problemáticos em virtude de sua difícil decomposição na natureza. Quando se tornam inservíveis, os pneus são colocados em aterros onde podem permanecer por mais de 500 anos. Isto constitui um problema ambiental que pode ser solucionado pela engenharia. Diante disso, a reciclagem surge como instrumento que promove o bem-estar ecológico e social.

Segundo a Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos – ANIP (2016) foram produzidos 67.870,35 novos pneus no Brasil, e em torno de 35 milhões foram descartados. Nos primeiros quatro meses de 2017 foi registrada uma alta no índice de produção, em torno de 1,8%, impulsionada principalmente por pneus agrícolas (33,6%) e caminhonetes (12,2%) (MOREIRA et al., 2014).

A Resolução nº 258 do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, determinou que os fabricantes são os responsáveis por dar um destino final ao montante descartado. Para cada novo pneu inserido no mercado, deve ser dada uma destinação adequada a um inservível. De acordo com a Revista Pesquisa FAPESP, desde que esta lei entrou em vigor já foram criados mais de 1.008 pontos de coleta, sendo que no ano de 2014, cerca de 90 milhões de pneus foram coletados para terem uma destinação ecologicamente adequada.

A substituição de agregados por borracha para a produção de elementos de concreto para a pavimentação resulta em um material durável, economicamente viável e capaz de absorver mais energia quando submetido a impacto.

Substituíram parcialmente os agregados por resíduo de recauchutagem, em frações volumétricas de (8%, 10% e 12%), para pavimentação intertravada com blocos de concreto, e, apesar do declínio na resistência à compressão do compósito, a absorção

e a tenacidade à fratura foram melhoradas, demonstrando que o pavimento é indicado para locais de baixo tráfego.

O concreto é um material bastante utilizado na construção civil, resultante da mistura, em quantidades racionais, de aglomerante (cimento), agregados (pedra e areia) e água. Logo após a mistura, o concreto deve possuir plasticidade suficiente para as operações de manuseio, transporte e lançamento em fôrmas, adquirindo coesão e resistência com o passar do tempo, devido a reações entre o aglomerante e a água.

No campo da construção civil, a utilização de pneus tem demonstrado ser uma alternativa tecnologicamente interessante, permitindo adequá-la com agregado da produção de concretos de cimento. Uma possibilidade para a aplicação desse tipo de resíduo são os concretos destinados à pavimentação, nos quais a borracha adicionada colabora para minimização dos problemas comuns a esse tipo de estrutura, ou seja, comportamento rígido e de fácil fissuração a baixas idades por efeito de retração plástica.

A pavimentação asfáltica utilizando asfalto-borracha de pneus inservíveis tem sido uma das áreas mais estudadas e consideradas como alternativa em potencial para a solução do passivo ambiental, causado por pneus inservíveis descartados de forma inadequada.

O asfalto-borracha, que é utilizado na pavimentação asfáltica, é um asfalto modificado por borracha moída de pneus. Além de ser uma forma nobre de dar destino aos pneus inservíveis, resolvendo um grande problema ecológico, o uso de borracha moída de pneus no asfalto melhora em muito as propriedades e o desempenho do revestimento asfáltico.

Nesse contexto, o objetivo desse estudo foi analisar a viabilidade técnica da utilização de resíduos de borrachas de pneus em pavimentos de baixo tráfego, bem como também, mostrar alternativa para minimização de impactos ambientais, com a utilização de borracha de pneus inservíveis na pavimentação de baixo tráfego; abordar a utilização da borracha de pneus para a pavimentação asfáltica de baixo tráfego, demonstrando sua contextualidade histórica e os avanços tecnológicos deste reuso no Brasil e por fim, descrever os benefícios ambientais e econômicos para pavimentação empregando o asfalto-borracha.

O presente estudo se justifica com base na crescente demanda nas rodovias brasileiras, por um melhor asfalto, aliada a necessidade de se inovar para ser sustentável. Nesse sentido, faz-se necessário cada vez mais buscar soluções para reduzir os problemas ambientais e aumentar a vida útil do pavimento. Podendo ser solucionados com alta

qualidade de construção, implementação e utilização de materiais inservíveis como a borracha de pneu.

No campo da construção civil, dentre algumas práticas adotadas menos agressivas ao meio ambiente, está a utilização de resíduos de borracha de pneu como uma alternativa para minimização de impactos ambientais e econômicos, utilizando-se tais resíduos para a pavimentação asfáltica de baixo tráfego, e com isso, contribuindo para a solução do passivo ambiental, causado por pneus inservíveis descartados de forma inadequada.

Destaca-se que esta pesquisa pode conferir à utilização de altos índices de materiais reciclados em misturas para pavimentos asfálticos, reduz a disposição de materiais em aterros, enquanto também reduz a quantidade de novos agregados e de betume extraídos da natureza, sendo assim uma tecnologia eficaz, tanto ambientalmente quanto na redução do uso de energia, e leva o setor industrial de construção de estradas às práticas de construções sustentáveis.

2 METODOLOGIA

O artigo em questão foi realizado através de um levantamento bibliográfico de caráter descritivo e exploratório, com abordagem qualitativa. Desta forma, o artigo vem descrevendo a história, o passo a passo dos processos e descrevendo a utilização do asfalto-borracha nos pavimentos de baixo tráfego, trazendo consigo algumas vantagens sobre o mesmo: diminuição do envelhecimento por oxidação, aumento da flexibilidade e da vida útil em até 30%, maior e melhor aderência do pneu ao pavimento, entre outros.

Os artigos obtidos serão relacionados em uma planilha, cujo modelo pode ser observada na Tabela abaixo:

Nº	Autores	Título	Ano

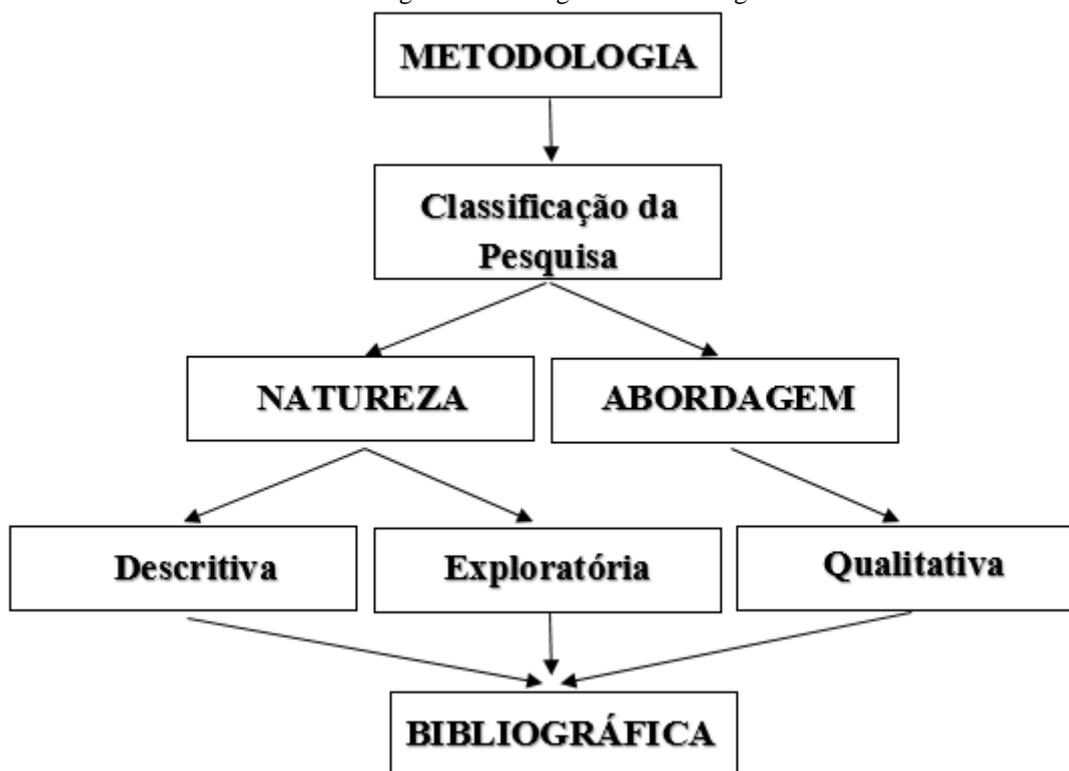
A pesquisa bibliográfica buscou materiais como: revistas, monografias, artigos e materiais disponíveis pela internet que são de interesse para a pesquisa.

Desta forma, para oferecer embasamento teórico para o estudo foi realizado a coleta de todo o material didático necessário através da pesquisa bibliográfica que apontou conceitos com diferentes autores possibilitando o comparativo entre os mesmos.

A pesquisa bibliográfica tem o intuito de aumentar um conhecimento disponível sobre teorias.

A metodologia de desenvolvimento deste trabalho consiste na análise da composição do asfalto borracha e sua aplicação, apresenta a análise das vantagens do asfalto-borracha sobre o asfalto convencional, considera também a análise do custo benefício do asfalto-borracha em relação ao asfalto convencional e por fim, a avaliação dos resultados obtidos da comparação realizada.

Figura 1 – Fluxograma Metodologia



3 RESULTADOS

Nº	Autores	Título	Ano
01	Drumond, B. H. G.	Utilização de resíduos de borracha em pavimentações asfálticas ecológicas	2012
02	Rosa, A. P. G.; Santos, R. A.; Crispim, F. A.; Riva, R. D. D.	Análise comparativa entre asfalto modificado com borracha reciclada de pneus e asfalto modificado com polímeros	2012
03	Frauches, C. S. L.; Sá, F. F.; Lima, N. P.; Silva, M.	Viabilidade técnica, econômica e ambiental do asfalto borracha	2013
04	Mellone, G.; Santos, M. R.; Shibao, F. Y.	Pavimentação de rodovias com a utilização de resíduos de pneus inservíveis	2013
05	Beduschi, E. F. S	Utilização de pneus inservíveis na composição da massa asfáltica	2014
06	Alves, V. E. S.; Vasconcelos, G. M.;	Impacto ambiental provocado pela destinação incorreta de pneus	2015

	Moreira, R. N.; Filho, M. J. A.; Barreto, T. S.		
07	Araújo, D. H.	Análise comparativa do asfalto borracha com asfalto convencional e o asfalto com adição de polímeros	2015
08	Alvez, M. A	Análise comparativa ambiental, econômica e técnica entre o asfalto-borracha e o asfalto convencional.	2017
09	Oviedo, D. P.	Asfalto com adição de borracha de pneus inutilizados	2018
10	Texeira, L.H.B	Estudo das vantagens do asfalto-borracha em relação ao asfalto convencional	2018
11	Andrade, G. A. G.; Alves, M. D. A.	Estudo Comparativo Técnico, Econômico e Ambiental entre o Asfalto-Borracha e o Asfalto Convencional	2019
12	Silva, G. C.; Júnior, F. V. S.	Análise de viabilidade técnico-financeira da aplicação do asfalto borracha em rodovias do Tocantins	2019
13	Carvalho, K. C. R.; Almeida, R. F. P.; Junior, V. D. L.	Análise de viabilidade econômica e ambiental do asfalto-borracha em relação aos pavimentos do tipo TSD e CBUQ.	2020
14	Fernandes, L. S. S; Martins, P. G	O uso da borracha de pneu na produção de asfalto borracha: uma solução ambiental	2020
15	RECICLANIP	Formas de destinação - Destinados	2020

Durante muitas décadas vários pesquisadores vêm tentando desenvolver técnicas com o objetivo de melhorar a composição do asfalto e torná-lo mais adequado às necessidades da população, através da incorporação de modificadores de asfalto, tais como: fíleres especiais, fibras e borrachas, as quais vêm tomando impulsos significativos ao longo dos anos (ROSA et al., 2012).

Conforme Alves et al (2015), o pneu se faz um produto de suma importância para a sociedade, mas o fato é que desde sua geração representa um problema ambiental. Próximo ao fim da sua vida útil, o pneu ainda pode passar por processos de reforma e ser reutilizado, mas ao desgastar-se completamente é caracterizado como pneu inservível e a destinação correta são as possíveis maneiras de reciclagem.

Desde 1998, as indústrias de pneus já se mostravam preocupadas com as questões ambientais, portanto ocorreram inovações no setor proporcionando economia de até 4% de combustível, ou seja, menor emissão de gases. A ANIP afirma que mesmo algumas indústrias demonstrando preocupação com a reciclagem dos pneus, o CONAMA, em 1998, iniciou estudos com o intuito de implantar a reciclagem de pneus (ALVES et al., 2015).

Os pneus quando se tornam inservíveis, acarretam em problemas sanitários e ambientais, dentre eles, reprodução de mosquitos e outros portadores de doença, risco de incêndio, podendo ocasionar uma fumaça tóxica e quando depositados em aterros contribui para contaminação do solo e da água que tiver contato com o material (VG Resíduos Ltda, 2019).

RECICLANIP (2019) informa através do seu site que é possível encontrar diversos pontos de coleta espalhados por todo o Brasil, que foram criados para facilitar o recolhimento dos pneus que terminaram com sua vida útil, reduzindo assim o número de pneus excluídos de forma errada. Esses citados pneus são recolhidos pelo serviço de Limpeza Pública por borracheiros, lojas de pneus, particulares e outros, eles são os responsáveis por encaminhar os pneus para o ponto de coleta mais adequado. Em seguida a Reciclanip, realiza o transporte dos pneus inservíveis para destinações homologadas pelo IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis), sem custos para o município.

Segundo RECICLANIP (2019), os fabricantes nacionais de pneus destinaram de forma ambientalmente correta 471 toneladas de pneus inservíveis em 2019. De 1999 a 2019 foram recolhidos e destinados adequadamente mais de 5,23 milhões de toneladas de pneus inservíveis, o equivalente a 1,04 bilhão de pneus de passeio. A quantidade de pneus excluídos é mapeado pela quantidade de pneus vendidos para reposição. É possível visualizar essa crescente através do gráfico representado na figura 2.



Fonte: RECICLANIP (2020)

Segundo Mellone et al (2013), o asfalto-borracha recebe aproximadamente 20% de borracha de pneus inservíveis e, por meio dessa adição, as propriedades da borracha melhoram a qualidade do ligante asfáltico, proporcionando um aumento da flexibilidade, tornando a mistura mais resistente ao envelhecimento, ao aparecimento de deformações e trincas, trazendo economia e segurança aos usuários das vias, quando comparado ao

asfalto convencional. Esse procedimento também traz vantagens ecológicas, ambientais e sociais, proporcionando uma destinação adequada aos pneus inservíveis.

Texeira et al (2017) realizou análise comparativa ao revestimento de asfalto modificado com borracha (Ecoflex) e o de material betuminoso (sem borracha), e através do ensaio observou que o asfalto modificado com borracha apresenta maior rigidez que a do ligante comum, apresenta ainda melhor viscosidade, porém, no seu processo de preparo demanda temperaturas maiores que os ligantes comuns.

Nessa perspectiva, Araújo (2015) realizou um estudo em laboratório comparando a resistência entre o asfalto convencional, o asfalto-borracha, e o asfalto modificado por polímero. Os resultados apresentaram o asfalto-borracha com uma resistência 28% superior que a resistência do asfalto convencional e 8,5% maior que o asfalto modificado por polímero, porque, segundo o autor, a borracha adicionada ao ligante possui propriedades elásticas além de elementos em sua composição que aumentam a resistência do asfalto. Ele finaliza afirmando que, por meio dos ensaios realizados, o uso do asfalto-borracha é viável nos aspectos ambientais, econômicos e técnicos.

Segundo Oviedo (2018), o asfalto borracha apesar de ainda ser um recurso sustentável, a pavimentação com o asfalto borracha pode proporcionar vantagens em comparação ao asfalto convencional:

- Grandes viscosidades;
- Grandes elasticidades;
- Diminuição sensorial a mudanças de climas quentes e frio;
- Grandes rigidez a mudanças de temperatura;
- Aumento da vida útil do pavimento;
- Diminuição de aparecimento de fissuras ao longo prazo;
- Utilização de linhas com espaçamento maiores (inutilização de agregado médio);
- Grandes aderências aos agregados;
- Aumento na impermeabilização;
- Melhoria na aderência entre o pneu e o pavimento, diminuindo assim o risco de acidentes. Outras Vantagens:

Figura 3 - Fluxograma das vantagens técnicas do asfalto-borracha



No entanto, uma desvantagem em relação ao uso do asfalto-borracha está relacionada ao seu processo de fabricação, onde necessita de agitação em alto cisalhamento, o que acaba provocando a emissão de compostos orgânicos totais (Compostos orgânicos voláteis + Aerossóis), sendo alguns destes considerados como cancerígenos. Portanto, o seu processo de fabricação aumenta a emissão de gases de efeito e estufa, aumenta o consumo de combustíveis e pode ser prejudicial para trabalhadores devido a emissão de fumos de asfalto, além de possuir um forte odor (ANDRADE et al., 2019).

Para Carvalho et al (2020), a viabilidade da pavimentação com asfalto borracha é tecnicamente positiva, sustentável e economicamente viável, levando em consideração os benefícios ambientais e o custo benefício em longo prazo apesar de ter um custo mais elevado, o asfalto borracha se faz viável mediante a resistência maior em comparação aos demais pavimentos. O custo relativamente superior é justificado claramente pela qualidade e desempenho. Estudos anteriormente realizados sobre asfalto borracha provaram que este pavimento deformou menos que os demais métodos avaliados. São números expressivos, mas também não se pode deixar de mencionar sua participação

ecológica devido a utilização de materiais descartáveis como os pneus, visto que é de extrema importância a retirada destes objetos do meio ambiente e a sua reutilização.

Corroborando com Carvalho et al (2020), Silva et al (2019) afirma que o uso do asfalto borracha é viável em todos os aspectos abordados, sendo eles ambientais, econômicos, técnico e financeiro. Do ponto de vista econômico, pode-se verificar que o asfalto borracha tem um custo de implantação superior ao asfalto convencional, mas se levada em consideração a suas características de redução do envelhecimento, aumento da flexibilidade, aumento do ponto de amolecimento e redução da susceptibilidade térmica, o asfalto borracha torna-se economicamente viável a longo prazo, pois seus custos com manutenção e reparo serão menores se comparados ao asfalto convencional.

Drumond (2012), cita a possível caracterização e análise do reaproveitamento de pneus inservíveis no asfalto-borracha sob três aspectos críticos: aspecto técnico, econômico e ambiental. Vejamos a seguir cada um desses aspectos:

- Aspecto técnico: a implementação dessa nova tecnologia, encontra resistência para ser utilizada: primeiro, devido a uma questão cultural: a engenharia atual já domina as técnicas de assentamento do asfalto convencional e, de certa forma, se recusa a inovar, mesmo sabendo das qualidades do asfalto-borracha, segundo, devido à falta de uma norma brasileira técnica que padronize os critérios 32 de dosagem e a granulometria mais adequada da borracha moída para determinados tipos de asfalto conforme os inúmeros requisitos técnicos desejáveis e a necessidade de equipamentos especiais para a implantação correta da borracha moída no asfalto.

- Aspecto econômico: Por se tratar de uma tecnologia relativamente nova, implica em novos gastos que tornam sua utilização mais cara do que o asfalto convencional. E, com o objetivo de reduzir ao máximo os gastos na fase inicial de implantação, não se percebe que este investimento maior inicial irá reduzir verbas de manutenção no resto da vida útil do asfalto implantado.

- Aspecto ambiental, apesar da criação de leis que regulamentam o destino dos pneus inservíveis e da disseminação de órgãos que contribuem para o descarte correto, ainda existe um grande desconhecimento da população sobre o que fazer com pneus que não podem mais ser utilizados. Muitos setores da economia também insistem em descartar pneus velhos em locais que prejudicam o meio ambiente. As entidades governamentais apesar de ampla campanha de conscientização para o não descartes em áreas indevidas, é ainda necessário difundir as ideias de reciclagem e as diversas formas de reaproveitamento de pneus inservíveis através dos principais meios de comunicação,

incentivos financeiros para a população e mais parcerias com os setores relacionados às indústrias pneumáticas.

De acordo com Frauches et al (2013), os equipamentos necessários para a usinagem do Asfalto Borracha são:

- Fornos de aquecimento do material betuminoso, capaz de aquecer o mesmo e mantê-lo dentro dos limites especificados de temperatura;
- Equipamento de secagem e aquecimento de agregado, capaz de eliminar a umidade do mesmo, de aquecê-lo e mantê-lo dentro dos limites especificados de temperatura;
- Moedor ou triturador de borracha (para transformar os pneus em borracha moída);
- Tambores magnéticos, responsáveis por separar os metais que constituem os pneus;
- Termômetro para o controle de temperatura do material betuminoso e do agregado;
- Equipamento misturador capaz de efetuar uma mistura homogênea e intimamente ligada, entre o agregado mineral, a borracha moída e o material betuminoso;
- Silos para armazenagem dos agregados minerais e da borracha moída;
- Tanques para armazenagem de Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP);
- Tanques térmicos para armazenagem da mistura já pronta.

Quando se deseja produzir uma mistura asfáltica, alguns parâmetros devem ser seguidos. Após a seleção dos agregados que devem atender características de durabilidade, índice de forma, desgaste, adesividade, entre outras, é obtida uma mistura de agregados em uma faixa granulométrica específica para cada tipo de mistura a ser formulada. A fim de que a elaboração da mistura asfáltica seja bem-sucedida, a fim de atender os interesses do projeto a que se destinará, é de suma importância a seleção do ligante asfáltico (FERNANDES et al., 2020).

Existem dois métodos conhecidos e utilizados hoje em dia para incorporação de pó de borracha a mistura asfáltica, sendo eles:

- Processo úmido, o material triturado e miúdo de borracha é adicionado ao cimento asfáltico, o resultado é o ligante conhecido como asfalto-borracha.
- No processo seco, a borracha processada substitui uma porção do material pétreo da mistura. O resultado obtido após acrescentar o ligante é conhecido como concreto betuminoso usinado a quente modificado com acréscimo de borracha.

No primeiro processo a graduação das partículas vem a influenciar o resultado de forma diferente, os menores grãos atuam como ligantes enquanto que as maiores contribuem com a elasticidade final. É possível uma melhor visualização e entendimento dos processos utilizando o quadro 1 abaixo (FERNANDES et al., 2020).

Quadro 1: Processo de Mistura com acréscimo de borracha

Processo úmido (Asfalto Borracha)	Processo seco (Agregado Borracha)
(Cimento asfáltico + Borracha)	Cimento asfáltico
+	+
Agregado Pétreo	(Borracha + Agregado Pétreo)

Segundo um estudo de comparação da viabilidade econômica entre o asfalto convencional e o asfalto borracha fez-se uma análise de um trecho com extensão de 1 km de uma rodovia hipotética em Alagoas. A largura da pista, sem considerar o acostamento, foi de 7 m, sendo duas faixas com 3,5 m cada. Segundo os dados retirados do Projeto CREMA (2018) de Alagoas, foi considerada para os dois revestimentos uma densidade de 2,425 t/m³ (ANDRADE et al., 2019).

De acordo com Greca Asfaltos (2009) estudos nacionais e internacionais comprovam que pode ser realizada a redução de até 50% na espessura da camada de revestimento no asfalto-borracha em relação ao CAP convencional e tomando isso como base, nesta comparação foi reduzida 30% obtendo um valor de 3,5 cm. Os dados utilizados nos pavimentos com CBUQ e com Asfalto-borracha, que serão necessários para os cálculos, estão disposto no quadro 2 (ANDRADE et al., 2019).

Quadro 2 - Dados

DADOS	CBUQ	ASFALTO-BORRACHA
ESPESSURA	5 cm	3,5 cm
EXTENSÃO	1 km	1 km
LARGURA	7 m	7 m
DENSIDADE	2,425 t/m ³	2,425 t/m ³

Fonte: (ANDRADE et al., 2019).

Para se calcular a quantidade de massa asfáltica fez-se necessário converter as unidades de cada dado em metros e posteriormente multiplicar esses valores, 35 assim

obtendo a quantidade em tonelada para cada tipo de revestimento, como consta no Quadro 3 (ANDRADE et al., 2019).

Quadro 3 - Dados

Revestimento - CBUQ (convencional)	Revestimento - asfalto-borracha
1000m x 7m x 0,05m x 2,425t/m ³ = 848,75 toneladas de massa asfáltica de CBUQ	1000m x 7m x 0,035m x 2,425t/m ³ = 550,02 toneladas de massa asfáltica de asfalto-borracha
848,75 toneladas	550,02 toneladas

Fonte: (ANDRADE et al., 2019).

Beduschi (2014), acrescenta que, o acréscimo da borracha de pneus na pavimentação pode proporcionar melhorias para a sociedade e o meio ambiente. Os benefícios ambientais gerados pela utilização da borracha de pneus são inúmeros além da redução do número de Pneus descartados, reduz consequentemente a poluição visual, focos de criação de insetos como *Aedes Aegypti*, depósito de pneus que geram riscos de incêndio incontroláveis e também a diminuição de assoreamento de rios e lagos causado em parte pelo indevido descarte de pneus.

O asfalto-borracha mostra-se como um promissor destino para os pneus velhos, parte importante dos resíduos sólidos que poluem o ambiente. Estima-se que cada quilômetro pavimentado com asfalto-borracha consuma, em média, 500 pneus (PEREIRA, 2018).

Segundo Oviedo (2018), uma rodovia ou estrada não é projetada para durar 60 anos o asfalto tem uma vida útil determinada. Ela é projetada para durar cerca de 15 anos, devido o processo natural de envelhecimento do pavimento, No entanto quando utilizada o asfalto borracha na composição do pavimento sua vida útil pode aumentar mais de 30 a 40 anos.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No passado, acreditava-se que diferentes tipos de pneus ou diferentes porções dos pneus produzidos com material melhorariam a qualidade para mistura com asfalto ligante. No entanto, com pneus modernos, há pouca diferença entre pneus de caminhões e de passageiros.

A tecnologia de modificação de ligantes asfálticos pela adição de borracha moída de pneus surge como destaque, pois além de conferir um sublime desempenho físico e

ecológico ao ligante, incorpora em seu objetivo um recurso ecológico de grande destaque, dando solução a um dos maiores problemas ambientais que existe nos dias atuais que é o descarte ilegal de pneus inservíveis.

De uma maneira geral pode-se concluir que a utilização da adição de borracha de pneus em ligantes asfálticos aplicados em obras de pavimentação no Brasil se mostra como uma técnica promissora para aumentar a durabilidade de das estradas e ruas.

O fato de o ligante possuir borracha, o faz mais elástico, assim sendo o pavimento apresenta uma flexibilidade maior, pronto para suportar amplas variações 20 de temperatura e tráfego pesado sem as conhecidas fissuras, assim demonstra ter uma fadiga menor e uma maior resistência às deformações das trilhas dos pneus.

O uso do asfalto borracha é viável em todos os aspectos abordados, sendo eles ambientais, econômicos, técnico e financeiro. Do ponto de vista econômico, pode-se verificar que o asfalto borracha tem um custo de implantação superior ao asfalto convencional, mas se levada em consideração a suas características de redução do envelhecimento, aumento da flexibilidade, aumento do ponto de amolecimento e redução da susceptibilidade térmica, o asfalto borracha torna-se economicamente viável a longo prazo, pois seus custos com manutenção e reparo serão menores se comparados ao asfalto convencional.

REFERÊNCIAS

ALVES, V. E. S.; VASCONCELOS, G. M.; MOREIRA, R. N.; FILHO, M. J. A.; BARRETO, T. S. Impacto ambiental provocado pela destinação incorreta de pneus. ENIAC Pesquisa, Guarulhos (SP), v. 4, n. 2, jul.-dez., 2015. Disponível em: <<https://ojs.eniac.com.br/index.php/EniacPesquisa/article/view/277/398>>. Acesso em: 24 de out. de 2021.

ANDRADE, G. A. et al. Estudo Comparativo Técnico, Econômico e Ambiental entre o Asfalto-Borracha e o Asfalto Convencional. Maceió. 2019. Disponível em: <https://ri.cesmac.edu.br/bitstream/tede/640/1/estudo%20comparativo%20t%20c%20e%20econ%20e%20ambiental%20entre%20o%20asfalto-borracha%20e%20o%20asfalto%20convencional.pdf>. Acesso em: 03 de out. de 2021.

ARAÚJO, D. H. Análise Comparativa do Asfalto Borracha com o Asfalto Convencional e o Asfalto com Adição de Polímeros. UNIFOR Repositório Institucional, 2015. Disponível em: <https://repositorioinstitucional.uniformg.edu.br:21074/xmlui/handle/123456789/296>. Acesso em: 16 de out. de 2021.

BEDUSCHI, E. F. S. Utilização de pneus inservíveis na composição da massa asfáltica. Universidade do Oeste de Santa Catarina, 2014. Disponível em: http://www.uniedu.sed.sc.gov.br/wp-content/uploads/2014/04/eliane_fatima_strapazzon1.pdf. Acesso em: 24 de out. de 2021.

CARVALHO, K. C. R. et al. Análise de viabilidade econômica e ambiental do asfaltoborracha em relação aos pavimentos do tipo TSD e CBUQ. Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental, Florianópolis, v. 9, n. 3, p. 829-846, jul/set. 2020. Disponível em: <file:///C:/Users/jesse/Downloads/2020-Artigo-RevistaGestoeSustentabilidadeAmbiental.pdf>. Acesso em: 16 de out. de 2021.

DRUMOND, B. H. G. Utilização de resíduos de borracha em pavimentações asfálticas ecológicas. Monografia, Curso de Especialização em Construção Civil da Escola de Engenharia, UFMG, Belo Horizonte, 2012. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUOS-9AEHLS/2/monografia_bruno_hg_drumond__texto_.pdf. Acesso em: 16 de out. de 2021.

FERNANDES, L. S. S. et al. O uso da borracha de pneu na produção de asfalto borracha: uma solução ambiental. Monografia, Universidade Católica de Salvador, UCSAL. Disponível em: <http://ri.ucsal.br:8080/jspui/bitstream/prefix/3858/1/TCCLARASILVA%20E%20ROBERTOSOUZA.pdf>. Acesso em: 27 de out. de 2021.

FRAUCHES, C. S. L.; SÁ, F. F.; LIMA, N. P.; SILVA, M. Viabilidade técnica, econômica e ambiental do asfalto borracha. VIII International Conference on Engineering and Computer Education, v. 8, p. 351-354, 2013. Disponível em: <https://copec.eu/congresses/icece2013/proc/works/78.pdf>. Acesso em: 24 de out. de 2021.

MELLONE, G. et al. Pavimentação de rodovias com a utilização de resíduos de pneus inservíveis. *Rev. Elet. Gestão e Serviços*, v. 3, n. 2, jan./jun., 2013. Disponível em: <https://www.metodista.br/revistas/revistas-ims/index.php/REGS/article/view/3547/3547>. Acesso em: 16 de out. de 2021.

MOREIRA, J. F. et al. Concreto com borracha de pneus aplicado em ciclovias. *HOLOS Environmental*, v. 14, n. 2, p. 185-197, set., 2014. Disponível em: <https://www.ceanesp.org.br/holos/article/view/8141/6348>. Acesso em: 11 de set. de 2021.

OVIEDO, D. P. Asfalto com adição de borracha de pneus inutilizados. *Monografias Brasil Escola*, 2018. Disponível em: <https://monografias.brasilecola.uol.com.br/engenharia/asfalto-com-adicao-de-borracha-de-pneus-inutilizados.htm>. Acesso em: 24 de out. de 2021.

RECICLANIP. Formas de destinação - Destinados. Portal do Reciclanip, 2019. Disponível em: <https://www.reciclanip.org.br/destinados/>. Acesso em: 27 out. 2021.

ROSA, A. P. G.; SANTOS, R. A.; CRISPIM, F. A.; RIVA, R. D. D. Análise comparativa entre asfalto modificado com borracha reciclada de pneus e asfalto modificado com polímeros. *Teoria e Prática na Engenharia Civil*, n. 20, p. 31-38, nov., 2012. Disponível em: http://www.editoradunas.com.br/revistatpec/Art4_N20.pdf. Acesso em: 24 de out. de 2021.

SILVA, G. C.; JÚNIOR, F. V. S. Análise de viabilidade técnico-financeira da aplicação do asfalto borracha em rodovias do Tocantins. *Engineering Sciences*, v. 7, n. 2, abr./jul., 2019. Disponível em: <https://sustenere.co/index.php/engineeringsciences/article/view/CBPC2318-3055.2019.002.0008/1565>. Acesso em: 24 de out. de 2021.

TEIXEIRA, L. H. B.; ARAUJO, O. C. C. Estudo das vantagens do asfalto-borracha em relação ao asfalto convencional. *Monografia UniEvangélica* 2018. Disponível em: http://45.4.96.19/bitstream/aee/100/1/2018_1_TCC_Luan%20e%20Otavio.pdf. Acesso em: 26 de out. de 2021.

VG RESÍDUOS. Como a logística reversa de pneus evita descarte irregular no meio ambiente? *Minas Gerais*, 2019. Disponível em: <https://www.vgresiduos.com.br/blog/como-a-logistica-reversa-de-pneus-evita-descarte-irregular-no-meio-ambiente/#:~:text=Os%20pneus%20inserv%C3%ADveis%20quando%20s%C3%A3o,ambiente%20>. Acesso em: 27 de out. de 2021.