

The reuse of rubber from used and discharged tires, for a better resistance and longer life of coal asphalt

Lino, E. M. R.¹; Moura, J. P. O.²

Graduandos, Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil

Carvalho, M. A.³

Professora Dra., Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil

¹ edsonmorais1000@outlook.com; ² joaopmoura96@gmail.com; ³ macc235@gmail.com

RESUMO: Maior modal de transporte de cargas do Brasil, o sistema rodoviário sofre com o baixo crescimento de sua malha e a manutenção cara e ineficiente das vias existentes. Quem paga é o consumidor final que tem o custo dos produtos acrescido das dificuldades dos transportadores. Apontada em diversos estudos como possível solução para esses problemas, a mistura do pó da borracha reutilizada de pneus inservíveis com o concreto betuminoso é capaz de melhorar a durabilidade dos pavimentos e ainda traz benefícios ecológicos. Este artigo pretende analisar melhorias com a utilização do asfalto-borracha de forma a encorajar a administração pública e das empresas que possuem concessão de rodovias a utilizá-lo. A metodologia utilizada para tal foi bibliográfica e documental em sites, institutos de pesquisa e trabalhos acadêmicos. A conclusão obtida foi de que o asfalto-borracha é vantajoso: apesar de um custo inicial mais alto, a melhoria nas rodovias traz benefícios aos usuários, aos consumidores finais de produtos, ao meio ambiente e, até mesmo, a saúde pública.

Palavras-chaves: asfalto-borracha, pavimentação, rodovias, agregantes, transporte.

ABSTRACT: Brazil's largest cargo transportation modal, the highway system suffers from low growth of its network and expensive and inefficient maintenance of existing roads. The final consumer is the one who pays for this and has the cost of the products added to the difficulties of the transporters. Pointed out in several studies as a possible solution to these problems, the mixture of reused tire rubber dust with bituminous concrete is capable of improving the durability of sidewalks and also brings ecological benefits. This article aims to analyze improvements with the use of asphalt-rubber in order to encourage the public administration and companies that have highway concessions to use it. The methodology used for this was bibliographic and documentary research in websites, research institutes and academic papers. The conclusion reached was that rubber asphalt is advantageous: despite its higher initial cost, road improvement brings benefits to users, to the final consumers of the products, to the environment, and even to public health.

Keywords: asphalt-rubber, paving, roads, aggregates, transportation.

Área de Concentração: 05 – Infraestrutura de transporte

1 INTRODUÇÃO

A pavimentação asfáltica é a principal forma de revestimento utilizada nas ruas e rodovias. Isso ocorre na grande maioria dos países do mundo e, em especial, no Brasil. No quarto país com maior extensão territorial, esse tipo de revestimento tem sido prevalente: cerca de 95% das estradas pavimentadas e grande parte das ruas urbanas possuem pavimentação asfáltica (BERNUCCI et al, 2006, apud SOARES et al, 2016).

A rodovia Dutra, em 1950, foi a primeira rodovia brasileira a utilizar o asfalto. Resíduo da destilação do petróleo bruto, ele gera uma emulsão em contato com a água. Obtém-se então uma espécie de cimento que é adicionado a uma mistura agregante para alcançar características de coesão, insolubilidade, isolamento térmico e acústico (ORSI & SIMON, 2015).

O pavimento asfáltico compõe uma estrutura de múltiplas camadas construídas sobre a terraplanagem. O objetivo de sua implantação é resistir aos esforços do tráfego de veículos e proporcionar conforto e segurança para os usuários. Em diversas pistas, porém,

ocorre uma excessiva deformação do pavimento de forma prematura, provavelmente devido ao acúmulo de pequenos afundamentos onde o carregamento é aplicado (NOGUEIRA et al, 2020). A falta de manutenção também é um fator determinante. Produzido para durar em média dez anos, o asfalto resiste a apenas seis anos quando ela não é realizada da forma correta (EIRAS et al, 2018).

Segundo a Confederação Nacional do Transporte (CNT, 2017) as condições de conservação das rodovias federais e estaduais brasileiras é ruim e a metodologia de projetos utilizada está atrasada em 40 anos em relação a países como Estados Unidos e Japão. Como consequência, o transporte rodoviário enfrenta graves problemas com a baixa qualidade da infraestrutura das estradas de rodagem e o inadequado estado de conservação do asfalto.

Outra pesquisa do mesmo órgão, realizada em 2021, revela que 61,8% da extensão total das rodovias avaliadas foi classificada como regular, ruim ou péssima (CNT, 2021). O pavimento executado com asfalto apresenta, em muitos casos, problemas estruturais, em apenas sete meses após a conclusão da rodovia (CNT, 2017). Os principais defeitos encontrados estão relacionados a trincas, panelas, desgaste do agregado, bombeamento, exsudação e, a que causa mais prejuízos aparentes, deformações permanentes de trilhas de roda (HAAS et al. 1995, apud SEGRE, 2019).

Segundo Neves Filho (2004) uma das principais causas dessas deformações permanentes é a baixa resistência ao cisalhamento das misturas, fator que varia conforme a susceptibilidade térmica do ligante asfáltico e o esqueleto dos agregados minerais. O resultado desse defeito é a elevação do custo operacional do transporte, em cerca de 30,9%, por conta das condições insatisfatórias do pavimento das rodovias brasileiras (CNT, 2021). O valor assusta, em especial quando observa-se que a frota de veículos em circulação, no Brasil, é superior a 112 milhões e é crescente (SENATRAN, 2022). Acompanhando esse ritmo, também são colocados no mercado, aproximadamente, 62 milhões de pneus por ano, entre usados importados ou recauchutados (ANIP, 2021).

Os pneus, quando se tornam inservíveis, acarretam uma série de problemas sanitários e ambientais: servem como local para procriação de mosquitos e outros vetores de doenças; com a queima, contaminam o ar, devido à fumaça de CO₂; e reduzem a vida útil dos aterros sanitários.

Uma solução possível para o problema apresentado é o aproveitamento de resíduos de pneus na composição do asfalto, criando um produto denominado asfalto borracha. Nele, são aprimoradas características de resistência, permeabilidade e aderência. O composto

reúne uma camada de mistura asfáltica, agregados minerais e o pó da borracha residual dos pneus preparado e aplicado a quente (ORSI & SIMON, 2015). Benefícios iniciais da mistura são observados na melhoria na impermeabilização do pavimento e em um processo de fadiga mais lento que possibilitam uma cobertura até 16 vezes mais resistente do que a convencional (BERTOLLO et. al., 2002).

Este artigo pretende analisar as melhorias que podem ser alcançadas pela pavimentação com asfalto-borracha. A utilização desse tipo de pavimentação tem por objetivo melhorar a qualidade do transporte terrestre, promover o desenvolvimento econômico e minimizar prejuízos econômicos, sociais e ambientais. O trabalho será realizado a partir da revisão de estudos sobre pavimentos urbanos que utilizam este material, serão levantadas questões como durabilidade, custo de manutenção e sustentabilidade. O objetivo é encorajar a administração pública e assim como, as empresas que possuem concessões de rodovias a adotarem o uso do asfalto borracha.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 *Asfalto Convencional*

Segundo BERNUCCI et al. (2006) o tipo de mistura asfáltica mais utilizado no Brasil é o concreto asfáltico – CA, também conhecido como concreto betuminoso usinado a quente – CBUQ. Esse tipo de asfalto é, portanto, o considerado convencional. A norma DNIT 031/2006 – ES, Pavimentos flexíveis – Concreto Asfáltico – Especificação de serviço, define:

“Concreto Asfáltico - Mistura executada a quente, em usina apropriada, com características específicas, composta de agregado graduado, material de enchimento (filler), se necessário, e cimento asfáltico, espalhada e compactada a quente” (DNIT, 2006).

Ainda a mesma norma, estabelecem-se os materiais utilizados na mistura:

- Agregados graúdos: constituído por pedra britada, escória, seixo rolado tendo como referência o britado;
- Agregado miúdo: podendo ser areia, pó-de-pedra também sendo ambos misturados, entre outros materiais indicados;
- Material de enchimento ou filler: constituídas por materiais minerais, podendo ser cimento Portland, cal extinta, pós-calcários entre outros.

Quanto da execução, o asfalto possui mais de uma camada de revestimento. A primeira, camada

superficial, tem sua nomenclatura como capa de rolamento, a segunda, camada de ligação e a terceira, camada inferior, é chamada de blinder. A função da camada superior é receber as cargas do tráfego e transmiti-las para as camadas inferiores de forma a gerar conforto e segurança para os usuários (BARRETO JÚNIOR et al, 2007). Por sua vez, a camada inferior é responsável por regular e nivelar o pavimento (BALDO, 2007).

Todas as camadas são compostas por concreto ou mistura asfáltica, conforme Figura 1. A diferença entre elas é a porcentagem de vazios de ar após a compactação, sendo de 3 a 5% para a camada de rolamento e de 4 a 6% para as camadas subjacentes (BERNUCCI et al, 2006).

Figura 1 – Composição do Asfalto Convencional. Fonte: Bernucci et al (2006).



No processo da pavimentação, o ligante asfáltico deve ser aquecido a temperaturas maiores que 110°C, para atingir a viscosidade (fluidez) adequada à mistura, e adicionados solventes derivados de petróleo para melhorar a sua trabalhabilidade. Podem ser classificados em: cimento asfáltico de petróleo – CAP, asfalto diluído de petróleo – ADP e emulsão asfáltica (ODA, NASCIMENTO & EDEL, 2005).

Esses ligantes asfálticos são postos a grandes variações de temperatura e carga, devendo suportar a deformação imposta pelo tráfego, onde a altas velocidades de rolamento, a temperatura é mais elevada e, em baixas velocidades, a carga é aplicada por mais tempo, aumentando a resistência à deformação que o ligante deve suportar (ODA, NASCIMENTO & EDEL 2005).

Com isso, o valor da mistura asfáltica depende das propriedades do ligante, podendo ser adicionados aditivos como agentes melhoradores de adesividade, polímeros, agentes rejuvenescedores e, principalmente, a borracha moída de pneus inservíveis, tendo em vista a melhora de suas propriedades físicas, químicas e mecânicas (ODA, NASCIMENTO & EDEL 2005).

2.2 Pavimentação Sustentável

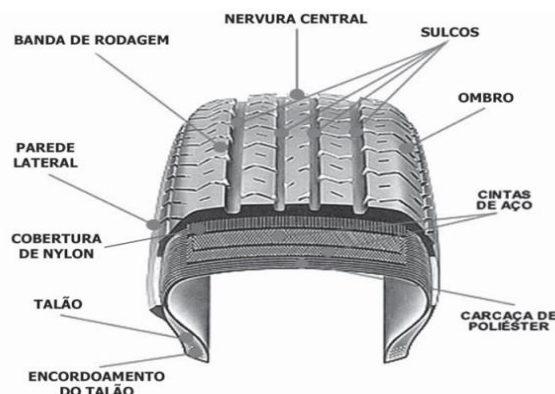
Na pavimentação convencional, com concreto asfáltico, cerca de 90% do peso da mistura é de agregados. Esses agregados, quando naturais, são extraídos de jazidas que exploram e degradam o meio ambiente. Como alternativa sustentável, pesquisadores estão aplicando agregados reciclados na pavimentação asfáltica que, além de evitar a exploração do meio ambiente, também reduzem áreas de aterros e ampliam as técnicas de reciclagem de resíduos (OLIVEIRA & MATUTI, 2018).

2.2.1 Descarte e Aspectos Ambientais

No Brasil, mais de 50% do total de borracha consumida é utilizada na fabricação de pneus. Em 2016, cerca de 68 mil pneus foram produzidos no Brasil e em torno de 35 milhões foram descartados (SILVA, 2015). Projeções da Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos estimam que serão vendidos 60 milhões de pneus, no Brasil, no ano 2022. A maior produtora de pneus é a Bridgestone, que alcançou, em 2021, a marca de 440 milhões de pneus produzidos em solo brasileiro após 90 anos de sua fundação (ANIP, 2021).

As más condições das estradas brasileiras exigem que os pneus sejam produzidos para durar sobre condições extremas. Sua composição é de até 41% borracha, natural ou sintética, em pneus para veículos pesados, mas também conta com materiais diversos como: estrutura em aço, náilon, fibra de aramida, rayon, fibra de vidro, reforçadores químicos, anti-degradantes, promotores de adesão e produtos auxiliares como óleos (KAMIMURA, 2002). A estrutura formada pode ser observada na Figura 2.

Figura 2 – Estrutura do Pneu. Fonte: Silva (2015).



Um pneu se torna inservível quando sua lona se rompe ou se torna fisicamente prejudicada de forma que não pode ser reformado (KAMIMURA, 2002). Todo pneu será, quando se tornar inservível, um resíduo

potencialmente danoso à saúde pública e ao meio ambiente (SILVA, 2015).

A Pirelli (2021), grande fabricante de pneus no mundo, afirma que a vida útil do seu produto está entre 25.000 e 50.000 mil km rodados, o que corresponderia a um prazo médio de 5 anos. Esse pneu ainda pode ser recauchutado ou reutilizado. Esses processos contribuem para a redução do volume de passivo ambiental temporariamente (RESENDE, 2004).

Ainda assim, segundo o Serviço Social do Transporte (SEST) e o Serviço Nacional de Aprendizagem do Transporte (SENAT), são descartadas cerca de 450 mil toneladas de pneus por ano, no Brasil. Como a decomposição da borracha é muito lenta, seu acúmulo em beira de estradas, lixões, rios, terrenos urbanos, fundos de vale e outros acaba se tornando uma espécie de criadouro para mosquitos transmissores de doenças e aumentando o risco de incêndio nesses locais (SANTOS, 2005).

Em 2 de agosto de 2010 foi instituída, pela Lei nº 12.305, a Política Nacional de Resíduos Sólidos que estabelece que os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes de pneus devem implementar sistemas de logística reserva para encaminhar os pneus inservíveis para tratamento e disposição ambiental adequada (BRASIL, 2010). Os pneus destinados corretamente são descaracterizados e seus elementos constituintes são reaproveitados. O polímero da borracha obtido é um dos resíduos mais valiosos desse sistema, em especial a partir de sua inclusão em misturas asfálticas (NETTO, REIS & BATALHA NETO, 2016).

2.2.2 Processo de reciclagem para o emprego no asfalto-borracha

Ficou estabelecido através de legislação, que os próprios fabricantes, importadores e distribuidores são responsáveis pela destinação dos pneus inservíveis. Em cidades com mais de 100 mil habitantes, é obrigatória também a instalação de pontos de coleta. Organizou-se por essas empresas, com auxílio das Prefeituras Municipais, uma rede de Ecopontos, locais onde serão descartados os pneus por terceiros, e posterior transporte desse material. Tudo isso em ambientes apropriados para evitar que fiquem expostos a chuva (FLORIANI, FURLANNETO & SEHNEM, 2016).

Na sequência para o processo de reciclagem dos pneus é necessário a separação da borracha vulcanizada de outros componentes. O arame e a malha de aço podem ser recuperados como sucata de ferro e o tecido de nylon pode ser utilizado como reforço em embalagens

de papelão (FRAUCHES et al, 2013). O material nobre do pneu (polímeros, carbono do petróleo e óleos) são utilizados para enriquecer os cimentos asfálticos e os chip (pedaços) de pneus, como nas Figuras 3 e 4, restante são incinerados para alimentar os fornos de cimenteiras (TEM SUSTENTÁVEL, 2017).

Segundo Frauches et al (2013) o passo a passo do processo segue o seguinte fluxo:

- 1) O pneu é picado em pedaços;
- 2) Os pedaços são colocados em um tanque com solvente para que a borracha inche e se torne quebradiça;
- 3) Os pedaços de borracha são pressionados e se desprendem da malha de aço e do tecido de nylon;
- 4) Um sistema de eletroímãs separa os três elementos;
- 5) A borracha é moída e separada por um sistema de peneiras e bombas de alta pressão;
- 6) Em um reator autoclave a borracha é desvulcanizada e recupera até 75% de suas propriedades originais;
- 7) A borracha resultante (pó de borracha, Figura 4) vai para um tanque de secagem.

Figura 3 – Chip de pneu. Fonte: UTEP (2022).



Figura 4 – Pó de borracha. Fonte: UTEP (2022).



Segundo a ANIP (2021) a mistura do pó de borracha com asfalto, para pavimentação de vias, aumenta a durabilidade e barateia o custo de manutenção das vias.

2.2.3 Propriedades do asfalto-borracha

O asfalto é um composto derivado do petróleo, constituído por misturas complexas de hidrocarbonetos não voláteis, de elevada massa molecular. Adquirido pela destilação do petróleo nas refinarias, é chamado de cimento asfáltico de petróleo (CAP), e possui características próprias para uso direto nas misturas asfálticas, devido à sua impermeabilidade, durabilidade, flexibilidade, alta resistência a deformações permanentes e flexibilidade térmica (BERNUCCI et al, 2006).

Os compósitos convencionais podem ter suas propriedades melhoradas com a adição de aditivos ou agregados, sendo a incorporação de borracha de pneu moída, umas das alternativas mais estudadas e avaliadas para a utilização em revestimentos asfálticos (PILATI, 2008).

O bom resultado da borracha como um aditivo, para melhorar o desempenho do CAP, é resultado da compatibilidade de materiais poliméricos com alto peso molecular, que apresentam variações de volume, quando imersos em materiais com baixo peso molecular. Na incorporação com o cimento asfáltico, as partículas de borracha aumentam até cinco vezes o seu volume, absorvendo os óleos aromáticos contidos no cimento asfáltico, alterando as propriedades como a ductilidade, viscosidade e suscetibilidade térmica. Já para o CAP, inibidores de raios UV e antioxidantes são transferidos pelo negro de fumo ao asfalto, tornando-se um material mais resistente à fissuração e ao envelhecimento, proporcionando maior durabilidade ao pavimento (DIAS, 2005).

2.2.4 Viabilidade e análise econômica e ambiental do asfalto borracha

Estudos laboratoriais apontam que o asfalto-borracha possui resistência 28% superior ao asfalto convencional (SILVA, PEREIRA & PINHEIRO, 2021). Diversas outras vantagens técnicas também podem ser observadas conforme Figura 5 e lista abaixo elaborada por Oviedo (2018):

- Grandes viscosidades;

- Grandes elasticidades;
- Diminuição sensorial a mudanças de climas quentes e frio;
- Grande 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.

Figura 5 – Vantagens técnicas do asfalto-borracha. Fonte: Silva, Pereira e Pinheiro (2021).



Além das vantagens técnicas, existem vantagens ambientais e sociais como: economia de recursos naturais, geração de empregos, redução dos riscos de incêndio e desastres ambientais, redução do ruído e decréscimo no número de acidentes de trânsito.

Quanto a durabilidade do asfalto convencional, uma rodovia ou estrada é projetada para durar cerca de 15 anos, devido ao processo natural de envelhecimento e desgaste do pavimento. No entanto, quando utilizado o asfalto-borracha na composição do pavimento, sua vida útil pode aumentar para mais de 30 anos,

dependendo do fluxo dos veículos que há nela (BERTOLLO, 2002).

A viabilidade econômica do asfalto borracha no Brasil, porém, não é uma das melhores pois, em média, o preço do asfalto borracha, em comparação ao asfalto convencional, fica 30% mais caro. Segundo a ABEDA (2022), o preço médio do asfalto convencional está em R\$35.000,00 reais por 100 m², enquanto o asfalto-borracha está em torno R\$49.000,00 por 100m².

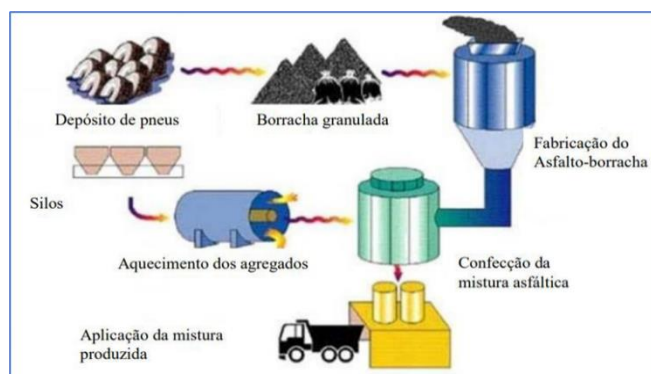
Além disso, como aspecto negativo do asfalto-borracha pode-se citar o aumento na emissão de gases poluentes e nocivos à saúde humana e um aumento na produção de alguns produtos derivados do petróleo.

2.3 Mistura asfalto-borracha

2.3.1 Processo úmido

O processo úmido de fabricação de asfalto-borracha consiste na 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). Essa substância misturada é classificada como uma reação e forma um composto chamado asfalto-borracha, com propriedades diferentes do ligante original, podendo ainda ser incorporados aditivos, para ajustar a viscosidade da mistura. 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, conforme Figura 6 (ODA E FERNANDES JR, 2001).

Figura 6 – Processo úmido de fabricação do asfalto-borracha. Fonte: Dantas Neto et al (2003).

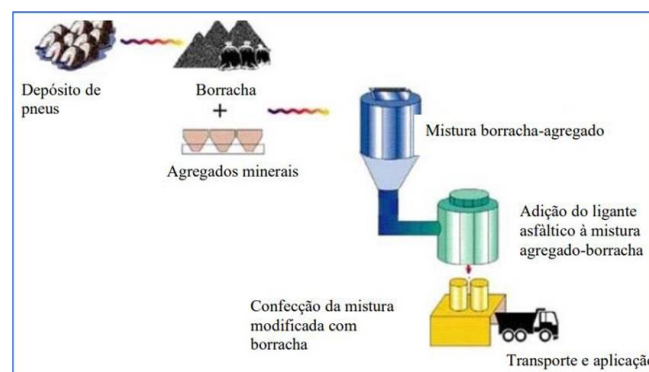


2.3.2 Processo a seco

No processo a seco, a introdução da borracha, nas usinas de asfalto, ocorre juntamente ao processo de preparação da mistura asfáltica, acrescentando 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 6,4mm, sendo posteriormente adicionado o ligante betuminoso a esta composição final. A quantidade de borracha consumida, nesse processo, chega a ser 2 a 4 vezes maior que pelo processo úmido (PILATI, 2008). 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 (ROBERTS et al, 1996 apud LEÃO, 2011).

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, conforme Figura 7.

Figura 7 – Processo a seco de fabricação do asfalto-borracha. Fonte: Dantas Neto et al (2003).



2.3.3 Características

Quanto a características físicas, no asfalto-borracha, há 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. Em um primeiro momento então, a vida útil do asfalto-borracha parece ser comprometida por esses fatores. À medida que as misturas asfálticas envelhecem, porém, a resistência mecânica aumenta, a flexibilidade reduz, e o asfalto-borracha aumenta seu módulo de resiliência e, conseqüentemente, sua vida útil, conforme a Figura 8 mostra (VUCOVIC, 2021).

Figura 8 – Placas após serem submetidas ao simulador de tráfego (a esquerda asfalto convencional e a direita, asfalto-borracha). Fonte: Greca Asfaltos (2004).



Outras características que podem ser medidas nos asfaltos são a fluência, capacidade do material se moldar sob pressão, e a estabilidade, capacidade do material resistir às pressões e tensões. A fluência aumenta conforme o volume dos vazios aumenta. A distribuição granulométrica da borracha, portanto, influencia nos valores de estabilidade e a fluência das misturas asfálticas em que está presente. Quanto menor o tamanho das partículas, maiores serão os valores para a fluência. Com esses valores maiores de fluência, nota-se uma melhoria quanto à elasticidade da mistura asfáltica, resultando em uma menor probabilidade de aparecimento e propagação de trincas (PILATI, 2008).

Maior atrito entre o pneu e o asfalto e uma melhor drenabilidade da superfície também são características agregadas do asfalto-borracha. Essas melhorias garantem mais segurança, por reduzir a aquaplanagem, e uma boa visibilidade em dias de chuva (ODA, NASCIMENTO & EDEL, 2005).

Além de todas essas características fundamentais, o asfalto-borracha também é mais silencioso. Foi notada a redução de ruído do pavimento, em relação à rotação de veículos, trazendo uma melhora no desempenho acústico das rodovias (ODA, NASCIMENTO & EDEL, 2005).

2.4 Estudos de Caso

Para complementar o estudo teórico realizado foram levantados dados de três estudos de caso realizados por acadêmicos. Foram escolhidos casos da região Centro-Oeste do país, sendo dois no estado do Goiás e um no estado do Mato Grosso, regiões com condições físicas e climáticas próximas.

O primeiro caso foi estudado por Teixeira e Araújo (2018) em seu trabalho de conclusão do curso de engenharia civil na universidade Unievangélica. Os então estudantes compararam o uso do asfalto

convencional e do asfalto-borracha na cidade de Pires do Rio, em Goiás.

O segundo caso foi estudado por Mendes (2019) em dissertação de mestrado na PUC-GO. A viabilidade do asfalto-borracha foi testada dentro da cidade de Goiânia, Goiás, no bairro Jardim do Cerrado III.

Por fim, o terceiro caso foi estudado por Rodrigues e Rodrigues (2022) em trabalho de conclusão de curso do curso de engenharia civil na Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Os estudantes analisaram a questão proposta na cidade de Alta Floresta, estado do Mato Grosso.

2.4.1 Pires do Rio – GO

Segundo 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, porém, devido a sua durabilidade e baixa necessidade de manutenção, conclui que o asfalto-borracha têm grande viabilidade econômica.

Para chegar a essa conclusão, eles utilizaram tabelas de orçamento de obras realizadas em fevereiro de 2018 na cidade de Pires do Rio, Goiás. Foram escolhidas duas áreas de recapeamento do asfalto e parametrizaram-se os materiais envolvidos.

Foram determinados três quesitos de comparação de custos:

- 1) Serviços preliminares, administrativos e de topografia;
- 2) Especificações de escavação, transporte de materiais, terraplanagem, fabricação e aplicação do concreto betuminoso usinado a quente e dos materiais asfálticos;
- 3) Serviços complementares finais.

As obras analisadas tiveram duração de 180 dias e apresentaram os resultados apresentados nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1 – Comparação dos custos de serviços preliminares das obras de pavimentação com asfalto-borracha e asfalto convencional. Fonte: Adaptada de Teixeira e Otávio (2018) pelos autores.

Discriminação atividade	Valor total	
	Asfalto-borracha	Asfalto convencional
Mobilização e desmobilização	R\$ 10.626,25	R\$ 10.626,25
Administração local e manutenção do canteiro de obras	R\$ 5.223,75	R\$ 5.223,75
Fornecimento e instalação de placa	R\$ 1.331,66	R\$ 1.331,66
Serviços topográficos	R\$ 46.282,71	R\$ 4.043,04
TOTAL	R\$ 63.464,37	R\$ 21.224,70

Tabela 2 – Comparação dos custos de pavimentação com asfalto-borracha e asfalto convencional. Fonte: Adaptada de Teixeira e Otávio (2018) pelos autores.

Discriminação atividade	Asfalto-borracha	Asfalto convencional
	Valor total	
Escavação, carga e transporte de material de 1ª categoria	R\$ 2.703,45	R\$ 2.173,55
Regularização e compactação de subleito e base	R\$ 3.720,90	R\$ 3.720,90
Transporte de material com caminhão basculante	R\$ 417,65	R\$ 335,79
Imprimação de base de pavimentação	R\$ 8.530,85	R\$ 8.530,85
Transporte de materiais asfálticos até 50km	R\$ 1.643,15	R\$ 1.643,15
Pintura de ligação com emulsão	R\$ 15.919,47	R\$ 9.265,30
Transporte de materiais asfálticos além de 50km	R\$ 15.231,75	R\$ 5.337,62
Fabricação e aplicação de CBUQ	R\$ 155.513,51	R\$ 104.201,27
Transporte de materiais asfálticos	R\$ 210.481,96	R\$ 73.758,63
Transporte comercial com caminhão basculante	R\$ 8.669,66	R\$ 8.669,66
TOTAL	R\$ 422.832,35	R\$ 217.636,72

Apesar de, na Tabela 1, os custos do asfalto-borracha serem maiores, observou-se que isso se deu devido a extensão do projeto, cerca de 10 vezes maior que o executado com o asfalto convencional. Sendo assim, os autores consideraram que os custos de serviços preliminares são iguais para os dois tipos de pavimentação. Resultado semelhante se chegou quanto aos custos finais das obras.

Quanto ao apresentado na Tabela 2, concluiu-se que o asfalto-borracha gera maiores custos na pintura de ligação com emulsão LARC, com o transporte de materiais asfálticos e na fabricação e aplicação do CBUQ.

Observando-se somente a técnica, portanto, o asfalto-borracha teria um custo 51% maior que o asfalto convencional. Os autores ponderam, porém, quanto a durabilidade e necessidade de manutenção da via, o que, em uma avaliação futura, poderia trazer vantagem para esse tipo de pavimentação

Além disso, vantagens estruturais e ecológicas também atestam em favor do custo-benefício do asfalto borracha.

2.4.2 – Goiânia – GO

Mendes (2019) chegou na mesma conclusão através de um estudo um pouco mais complexo que o anterior: o custo inicial do asfalto-borracha é mais alto do que o custo do concreto convencional, porém, esse custo é compensado pelo baixo custo de manutenção ao longo da vida útil do pavimento e na diminuição das emissões de dióxido de carbono.

Neste estudo foi analisada a produção do CBUQ convencional e do CBUQ modificado com o uso da borracha de pneus inservíveis em uma usina na cidade de Goiânia. A usina selecionada é moderna, conforme pode ser observado na Figura 9, gravimétrica e com boa capacidade de produção. Além disso, conta com laboratório devidamente equipado para realizar o

controle tecnológico dos produtos, como visto na Figura 10.

Figura 9 – Usina de asfalto em Goiânia (GO). Fonte: Mendes (2019).



Figura 10 – Laboratório da usina de asfalto (GO). Fonte: Mendes (2019).



A comparação foi feita entre dois pavimentos de 3cm de espessura, dos dois tipos de asfalto. Segundo o autor, o preço médio praticado para o asfalto convencional em abril de 2018 era de R\$1,86 kg e para o asfalto-borracha, R\$2,00 kg. Para o bairro do Jardim Cerrado III, os custos de usinagem e aplicação dos materiais se deu conforme a Tabela 3.

Tabela 3 – Custo de usinagem e aplicação de asfalto convencional e asfalto-borracha no Jardim Cerrado III. Fonte: Mendes (2019).

GRANDEZAS	CÁLCULO	UNIDADE	ASFALTO CONVENCIONAL CAP 50/70	ASFALTO BORRACHA AB22
a	Quantidade de massa asfáltica de CBUQ	t	5.013,26	5.013,26
b	Custo de usinagem 20% do CAP	R\$/t	371,5	420,04
c	Quantidade de massa x custo de usinagem	axb	R\$ 1.862.426,09	2.105.769,73
d	Custo do CAP	R\$/t	1.857,5	2.100,2
e	Custo do CBUQ	axd	R\$ 9.312.130,45	10.528.848,65
f	Custo total da obra	cx+d	R\$ 11.174.556,54	12.634.618,38

Observou-se, então, na Tabela 3 que o custo do asfalto-borracha é 13% maior que o do asfalto convencional. Essa relação puramente econômica, porém, é apontada como insuficiente para analisar a viabilidade economia do asfalto borracha, segundo Mendes (2019). Uma análise mais aprofundada pode demonstrar que o asfalto-borracha é até três vezes

mais viável que o convencional, devido ao custo de manutenção ao longo de sua vida útil.

Comparando a manutenção realizada após sete anos em vias que utilizam os dois tipos de pavimento, o autor chegou na Tabela 4.

Tabela 4 – Custo de manutenção do asfalto convencional e asfalto-borracha. Fonte: Mendes (2019).

Tipos de Asfalto	Custo de Execução (R\$)	Manutenção em %	Custo de Manutenção (R\$)	Custo de Execução e Manutenção (R\$)
Asfalto Convencional	11.174.556,56	70	7.882.189,59	19.056.746,15
Asfalto Borracha	12.634.618,38	10	1.263.461,84	13.898.080,22

Conforme análise do autor, custo de manutenção do asfalto convencional é em média 37% maior. O custo do asfalto-borracha se diminui, portanto, ao longo do tempo, tornando-o mais barato conforme os anos passam.

Além disso, para a produção do asfalto-borracha necessário para pavimentar o Jardim Cerrado III, foram utilizados 552 pneus de carga e 4.412 pneus de passeio, o que tira aproximadamente 4 mil pneus por quilômetro das ruas. Essa quantidade de pneus levaria 600 anos para se decompor naturalmente na natureza.

2.4.3 – Alta Floresta – MT

Rodrigues e Rodrigues (2022) concluiu que o aumento da vida útil do pavimento pela utilização do asfalto-borracha traz diversas vantagens econômicas e de conservação do meio ambiente.

Para provar esse ponto, eles determinaram a partir da medida das massas de pneus, a massa de borracha que será utilizada no asfalto: 3,28kg por pneu. Na sequência, levantou quantos pneus inservíveis são gerados na cidade de Alta Floresta a cada ano, 51.600.

Considerando a média de 20% de borracha usada na mistura asfáltica, chegou então a um total de 84.624kg de massa total de asfalto-borracha que poderia ser produzida na cidade. Considerando a espessura de 5cm e 8,1m de largura, calculou que seria possível pavimentar 44,55 km de vias da cidade a cada 2 anos e 3 meses.

O autor incentiva, então, que seja utilizado o asfalto-borracha para as novas avenidas da cidade, afinal, a durabilidade é cerca de 40% maior. Além disso, conferiria maior aderência ao asfaltando, evitando derrapagens e reduzindo o spray causado pelos pneus em dias de chuva.

3 METODOLOGIA

O trabalho configura-se como uma pesquisa de cunho descritivo. Busca-se, aqui, além da compreensão do uso da borracha de pneu, na produção de asfalto borracha, saber se este realmente funciona a favor do meio ambiente (uma solução ambiental) e se realmente proporciona melhorias, com avanços na qualidade das rodovias.

Para a sua realização, será aplicada uma metodologia de natureza bibliográfica e documental. Inicialmente, para fundamentar teoricamente o trabalho, far-se-á a pesquisa bibliográfica utilizando-se de trabalhos já publicados, quando os dados são obtidos a partir de fontes escritas (GERHARDT & SILVEIRA, 2009), retirada de páginas eletrônicas como GRECA asfaltos, ABCR, ANIP, DNIT, CNT, entre outros sites, e em livros e periódicos voltados para análise da produção da pavimentação asfáltica e do asfalto-borracha artigo. Esse levantamento bibliográfico colaborou para um conhecimento mais amplo do aluno, acerca do tema, e contribuiu para o processo interpretativo do tema estudado.

Por fim, foram tomadas três publicações com estudos de caso sobre a aplicação do asfalto-borracha em cidades do Centro-Oeste brasileiro. A ideia foi de comparar os três casos de forma a evidenciar o objetivo do trabalho, que é de avaliar o potencial da utilização do asfalto-borracha, no processo de produção de pavimentação de ruas e estradas, e avaliar os benefícios que essa ferramenta pode trazer ao processo de produção da pavimentação na região.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Confederação Nacional do Transporte (CNT) aponta, em pesquisa divulgada no ano de 2021, que apenas 12,4% da malha rodoviária do Brasil é pavimentada, sendo a região com menor evolução na pavimentação a região Norte, como observado na Tabela 5. Outros dados da mesma pesquisa contam que a expansão da malha rodoviária pavimentada não acompanha o ritmo de crescimento da frota de veículos, como demonstrado na Tabela 6. Além disso, grande parte dos trechos que têm pavimento não estão em bom estado, conforme gráfico apresentado na Figura 11, estando o Brasil na 111ª posição no ranking de competitividade do Fórum Econômico Mundial no quesito qualidade da infraestrutura rodoviária.

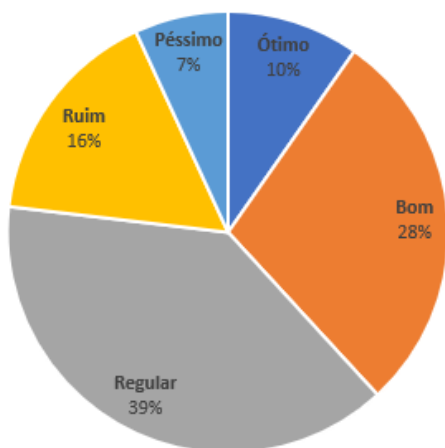
Tabela 5 – Evolução da malha pavimentada 2021. Fonte: Autores com dados CNT (2021).

Região ou Unidade da Federação	Malha pavimentada (km)
Brasil	65.734,7
Norte	9.895,7
Nordeste	20.332,8
Sudeste	11.978,5
Sul	11.838,1
Centro-Oeste	11.689,6

Tabela 6 – Evolução da malha rodoviária e da frota de veículos entra 2011 e 2021. Fonte: Autores com dados CNT (2021).

Dado	2011	2021	Crescimento
Frota	70.543.535,0	110.812.821,0	57,1%
Malha rodoviária total	1.712.092,7	1.720.700,0	0,5%
Malha rodoviária pavimentada	212.491,4	213.452,0	0,5%

Figura 11 – Gráfico da classificação do estado geral das rodovias no ano de 2021. Fonte: Autores com dados CNT (2021).



O relatório ainda aponta que 52,2% dos trechos avaliados têm problemas no pavimento (CNT, 2021). A precariedade dos 1,7 milhão de quilômetros de estradas que cortam o Brasil e escoam 58% do volume nacional de cargas ocasiona aumento nos custos operacionais de transporte e de logística em geral. Custo esse que é repassado ao produto e, conseqüentemente, ao consumidor final (SILVA, 2015).

Nesse modal, o rodoviário, os custos operacionais em geral são mais altos que os custos de implantação. Esse fator faz com que seja difícil para o poder público gerir esses custos, gerando a concessão de diversas rodovias para a iniciativa privada desde 1994 (PIASSA, 2013). Na privatização das rodovias o custo também é repassado aos usuários através dos

pedágios, mas o valor arrecadado pelos últimos trechos concedidos em 2018 também não tem sido suficiente, gerando processos e cassações de contratos entre o governo e iniciativa privada que não cumpre com os investimentos previstos (GUEDES, 2021).

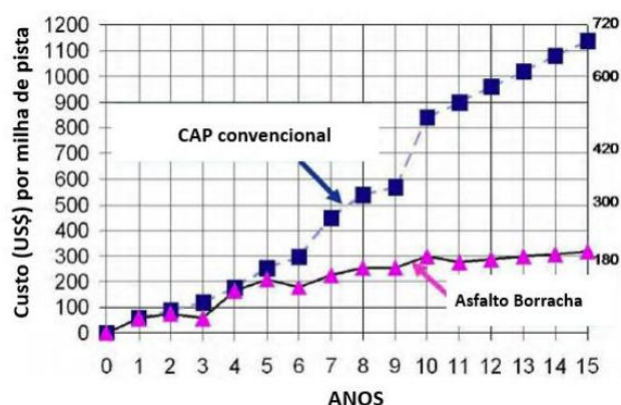
Diante desse cenário, os estudos de caso aqui levantados apresentam uma boa solução para o Brasil. A substituição da pavimentação de asfalto convencional por asfalto-borracha, nos três locais, se mostrou capaz de reduzir substancialmente os custos de manutenção das vias ao passo que aumenta a durabilidade da mesma, conforme Tabela 7 e Figura 12.

Tabela 7 – Comparativo entre asfalto convencional e borracha em relação a manutenção e durabilidade nos estudos de caso levantados. Fonte: Autores (2022).

Cidade/Asfalto	Custo Manutenção		Durabilidade	
	Convencional	Borracha	Convencional	Borracha
Pires do Rio		x		x
Goiânia		x		x
Alta Floresta	*	*		x

*aspecto não estudado pelo autor do trabalho

Figura 12 – Custo de manutenção de pavimentos asfálticos. Fonte: ANTT (2017).



Representa, portanto, vantagem para a empresa vencedora da concessão e para o usuário transitar em uma via pavimentada com o asfalto-borracha, pois diminuem-se os custos de manutenção. Essa diminuição abre possibilidade de maiores investimentos em novas vias e manutenção de vias antigas.

O problema, porém, fica por conta do custo de implantação da via. O asfalto-borracha é mais caro inicialmente, conforme Tabela 8. Esse fator desincentiva os governos e concessionários, cujos contratos têm uma duração definida, a investir. Afinal, teriam o custo inicial mais alto para depois repassar o custo menor de manutenção para uma concessão posterior.

Tabela 8 – Comparativo entre asfalto convencional e borracha em relação ao custo inicial nos estudos de caso levantados. Fonte: Autores (2022).

Cidade/Asfalto	Custo inicial	
	Convencional	Borracha
Pires do Rio	x	
Goiânia	x	
Alta Floresta	*	*

*aspecto não estudado pelo autor do trabalho

Outro aspecto importante do uso do asfalto-borracha é o meio ambiente. A obrigação do reaproveitamento dos pneus é prevista pela Lei 12.305 pois o longo tempo que esse material demora para se degradar é assunto de saúde pública. Isso por que os pneus descartados em lugares inapropriados, como nas Figuras 13 e 14 poluem o solo, rios, lagos e mares e são fontes de doenças transmitidas por mosquitos.

Figura 13 – Descarte irregular de pneus em solo. Fonte: Pensamento Verde (2018).



Figura 14 – Descarte irregular de pneus no Rio Tietê em São Paulo (SP). Fonte: Expo News (2021).



Os estudos de caso levantados foram unânimes em classificar o asfalto borracha como vantajoso para o meio ambiente, como pode ser visto na Tabela 9. Tanto por criar uma lógica de engenharia reversa no reaproveitamento dos pneus que poderiam ser descartados, como também por reduzir emissões de dióxido de carbono no meio ambiente.

Tabela 9 – Comparativo entre asfalto convencional e borracha em relação a preservação do meio ambiente nos estudos de caso levantados. Fonte: Autores (2022).

Cidade/Asfalto	Preservação Meio Ambiente	
	Convencional	Borracha
Pires do Rio		x
Goiânia		x
Alta Floresta		x

Além disso, o asfalto-borracha traz vantagens estruturais para o pavimento, também nos três estudos de caso levantados, conforme Tabela 10. Isso se dá, entre outras coisas, devido ao seu gráfico de viscosidade, Figura 15, que garante sua maior durabilidade com o tempo; a menor área trincada com o passar do tempo, Figura 16 e a um melhor resultado geral em aspectos físicos como resistência à deformação e módulo de resiliência.

Tabela 10 – Comparativo entre asfalto convencional e borracha em relação a vantagens estruturais nos estudos de caso levantados. Fonte: Autores (2022).

Cidade/Asfalto	Vantagens estruturais	
	Convencional	Borracha
Pires do Rio		x
Goiânia		x
Alta Floresta		x

Figura 15 – Variação da viscosidade do asfalto-borracha com o tempo e a temperatura. Fonte: ANTT (2017).

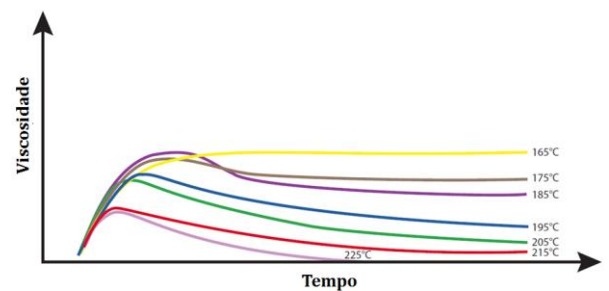
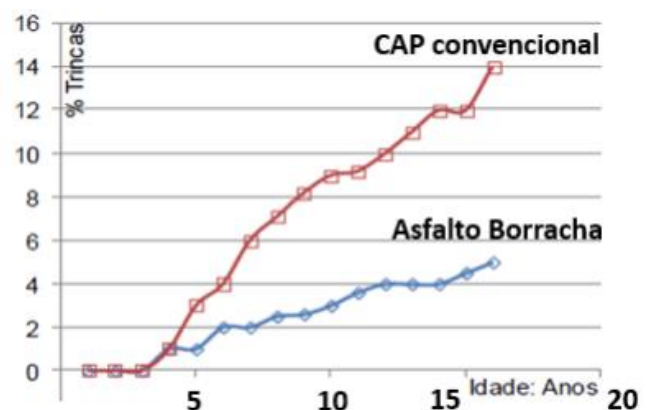


Figura 16 – Área trincada em pavimentos com asfalto convencional e borracha ao longo do tempo. Fonte: ANTT (2017).



5 CONCLUSÕES

O asfalto-borracha é vantajoso em relação ao asfalto convencional. Apesar de assustar em seu custo inicial, que chega a ser até 51% maior, as vantagens operacionais e de manutenção restituem ao Estado ou as empresas responsáveis pela concessão das vias financeiramente.

A forma como se dá a privatização e investimento no modal rodoviário no país, porém, se torna um empecilho para uma maior expansão de vias asfaltadas. Aqueles que despendem o custo inicial não têm certeza se colherão os frutos da redução dos custos futuros do asfalto-borracha.

A vantagem para o usuário e para a população em geral, porém, é inegável. A melhoria nas pistas reduz os custos dos produtos que são, no Brasil, em sua absoluta maioria transportados via rodovias. Além disso, reduzem-se os custos para os proprietários de veículos leves e pesados, com a redução de manutenção dos veículos e pneus.

Por fim, a vantagem é também para a saúde pública. Menos pneus descartados significam menos locais para procriação de mosquitos que levam doenças como a dengue e febre amarela para a casa de toda população. A redução de emissão de gases e poluição de rios também traz benefícios para todos.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES (ANTT). Asfalto borracha: revisão bibliográfica, avaliação reológica do ligante asfáltico e determinação dos parâmetros mecânicos das misturas asfálticas. Brasília (DF), 2017. Disponível em <<https://portal.antt.gov.br/documents/359170/966006/Asfalto+Borracha+Revis%C3%A3o+bibliogr%C3%A1fica%2C+avalia%C3%A7%C3%A3o+reol%C3%B3gica+do+ligante+asf%C3%A1ltico+e+determina%C3%A7%C3%A3o+dos+par%C2%AC20metros+mec%C3%A2nicos+das+misturas+asf%C3%A1lticas+%281%29.pdf/a1ca22a1-cddd-8fa1-285a-cfdb326f8ee5?t=1593234766847>>.

Acesso em: 1 de novembro de 2022.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE PNEUMÁTICOS (ANIP). ANIP prevê possível retomada das vendas de pneus em 2022. São Paulo (SP), 2021. Disponível em <<https://www.anip.org.br/releases/anip-preve-possivel-retomada-das-vendas-de-pneus-em-2022>>. Acesso em: 12 de maio de 2022.

BALBO, José. **Pavimentação asfáltica: materiais, projetos e restauração**. São Paulo (SP): Oficina de Textos, 2007.

BARRETO JÚNIOR, Litercilio; MORAES, Luiz; SERRA, Anderson; FÉLIX, Rogério. Avaliação do comportamento do ligante asfalto-borracha e de fibras

naturais em misturas asfálticas descontínuas. In: Seminário Estudantil de Produção Acadêmica, v. 10, n. 1, 2007, Salvador (BA).

BERNUCCI, Liedi; MOTTA, Laura; CERATTI, Jorge; SOARES, Jorge. **Pavimentação asfáltica**: formação básica para engenheiros. Rio de Janeiro (RJ): PETROBRAS: ABEDA, 2006. 504f.

BERTOLLO, Sandra; FERNANDES JÚNIOR, José; SCHALCH, Valdir. Benefícios da incorporação da borracha de pneus em pavimentos asfálticos. In: Congresso Interamericano de Engenharia Ambiental, n. 18, 2002, Cancún (México).

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília (DF): Casa Civil, 2010. Disponível em

<[Acesso em: 1 de novembro de 2022.](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm#:~:text=L12305&text=LEI%20N%C2%BA%2012.305%2C%20DE%202%20DE%20AGOSTO%20DE%202010.&text=Institui%20a%20Pol%C3%ADtica%20Nacional%20de,1998%3B%20e%20d%C3%A1%20outras%20provid%C3%A2ncias.></p></div><div data-bbox=)

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTES (CNT). Anuário CNT do Transporte 2021. Brasília (DF), 2021.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTES (CNT). Transporte rodoviário: por que os pavimentos das rodovias do Brasil não duram? Brasília (DF), 2017. Disponível em <<https://www.cnt.org.br/pesquisas>>. Acesso em: 18 de maio de 2022.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTES. Pesquisa CNT de Rodovias 2021. Brasília (DF), 2021. Disponível em <<https://www.cnt.org.br/pesquisas>>. Acesso em: 18 de maio de 2022.

DANTAS NETO, Silvrano; FARIAS, Márcio; PAIS, Jorge; SOUSA, Jorge. Propriedades mecânicas das misturas asfálticas confeccionadas com asfalto borracha. In: Reunião Anual de Pavimentação, v. 34, 2003, Campinas (SP).

DIAS, Márcia. **Utilização de mistura asfáltica com borracha pelo processo da via-seca**: execução de um trecho experimental urbano em Porto Alegre. Dissertação de Pós-Graduação – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre (RS), 2005.

EIRAS, Diego; PEREIRA, Luanderson; PAIVA, Pedro; GOMES, Gustavo. A importância da composição da massa asfáltica para um bom desempenho. Revista **Teccen**, v. 11, n. 2, p. 65-72, novembro, 2018.

EXPO NEWS. Desassoreamento no Rio Tietê já removeu mais de 2 mil pneus entre 2019 e 2021. 2021. Disponível em <<https://www.exponewsbrasil.com.br/desassoreamento-no-rio-tiete-ja-removeu-mais-de-2-mil-pneus-entre-2019-e-2021/>>. Acesso em: 1 de novembro de 2022.

FLORIANI, Marco; FURLANETTO, Vinícius; SEHNEM, Simone. Descarte sustentável de pneus inservíveis. Revista **NAVUS**, Florianópolis (SC), v. 6, n. 2, p. 37-51, abril/junho, 2016.

FRAUCHES, Cristiane; DE SÁ, Fábio; LIMA, Nathália; SILVA, Marcelo. Viabilidade técnica, econômica e ambiental do asfalto borracha. In: International

- Conference on Engineering and Computer Education, v. 8, 2013, Luanda (Angola).
- GERHARDT, Tatiana; SILVEIRA, Denise. **Métodos de Pesquisa**. Plageder, 2009.
- GUEDES, Aline. Baixos investimentos em rodovias causam prejuízos ao país, aponta debate. Brasília (DF), 2021. Disponível em <<https://www12.senado.leg.br/noticias/materias/2021/08/19/baixos-investimentos-em-rodovias-causam-prejuizos-ao-pais-aponta-debate>>. Acesso em: 1 de novembro de 2022.
- GRECA ASFALTOS. Linha ecoflexpave. Araucária (PR), 2004. Disponível em <https://www.grecaasfaltos.com.br/wp-content/conteudos/publicacoes-greca/estudo-ecoflex_pesquisas-avaliacao-economica-financeira-apelo-ecologico-asfalto-ecologico.pdf>. Acesso em: 18 de maio de 2022.
- KAMIMURA, Eliane. **Potencial de utilização dos resíduos de borracha de pneus pela indústria da construção civil**. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis (SC), 2002.
- LEÃO, Luiz. **Asfalto borracha**. Monografia para Especialização em Construção Civil – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte (MG), 2011.
- MENDES, Gilberto. **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.
- NETTO, Quincio; REIS, Ana; BATALHA NETO, Bernardo. Análise do comportamento mecânico de misturas asfalto-borracha produzidas pelos processos úmido e seco. Revista **Científica do CEDS da UNDB**, São Luís (MA), v. 1, n. 5, agosto/dezembro, 2016.
- NEVES FILHO, Cláudio. **Avaliação laboratorial de misturas asfálticas SMA produzidas com ligante asfalto-borracha**. Dissertação de Mestrado – Escola de Engenharia de São Carlos, USP – São Carlos (SP), 2004.
- NOGUEIRA, Glairton; OLIVEIRA, Adolfo; MARQUES, Diogo; CASTRO, Sarah; BUDELON, Anderson. Uso da borracha de pneus inservíveis como adição no asfalto para manutenção de estradas. Revista **Uniaraguaia**, Goiânia (GO), v. 15, n. 1, p. 85-91, janeiro/abril, 2020.
- ODA, Sandra; FERNANDES JR, José. Viabilidade técnica do uso de ligante asfalto-borracha como material para pavimentação asfáltica. In: Reunião Anual de Pavimentação, v. 32, 2001, Florianópolis (SC).
- ODA, Sandra; NASCIMENTO, Luis; EDEL, Guilherme. Aplicação do asfalto borracha na Bahia. In: Congresso Brasileiro de P&D em petróleo e gás, v. 3, 2005, Salvador (BA).
- OLIVEIRA, Brenda; MATUTI, Bruna. A utilização de resíduos classe A na pavimentação. Revista Científica Semana Acadêmica, n 141, p. 1-28, 2018.
- ORSI, Álvaro; SIMON, Cristiana. **Asfalto borracha**. UFRGS, Porto Alegre (RS), 2015. Disponível em: <<https://www.ufrgs.br/ensinodareportagem/meiob/asfaltob.html>>. Acesso em: 12 de abril de 2022.
- OVIEDO, Douglas. **Asfalto com adição de borracha de pneus inutilizados**. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Anhanguera Uniderp. Campo Grande (MS), 2018.
- PENSAMENTO VERDE. As principais consequências do descarte de pneus no meio ambiente. 2018. Disponível em <<https://www.pensamentoverde.com.br/meio-ambiente/as-principais-consequencias-do-descarte-de-pneus-no-meio-ambiente/>>. Acesso em: 1 de novembro de 2022.
- PILATI, Fernanda. **Análise dos efeitos da borracha moída de pneu e do resíduo de óleo de xisto sobre algumas propriedades mecânicas de misturas asfálticas densas**. Dissertação de mestrado – Universidade de São Paulo. São Carlos (SP), 2008.
- PIRELLI S.p.A. Quantos quilômetros um pneu pode percorrer? São Paulo (SP), 2021. Disponível em <<https://www.pirelli.com/global/pt-br/road/quantos-quilometros-um-pneu-pode-percorrer>>. Acesso em: 18 de maio de 2022.
- RESENDE, Eduardo. **Canal de distribuição reverso na reciclagem de pneus: estudo de caso**. Tese de doutorado – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro (RJ), 2004.
- RODRIGUES, Charles; RODRIGUES, Lucas. **Estudo de viabilidade para fabricação de asfalto borracha na cidade de Alta Floresta – MT**. Trabalho de conclusão de Curso – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Porto Alegre (RS), 2022.
- SANTOS, Jorge. **O impacto do lixo urbano no desenvolvimento de produtos sustentáveis – caso do concreto DI: pneus inservíveis**. Dissertação de mestrado – Universidade Católica de Santos. Santos (SP), 2005.
- SECRETARIA NACIONAL DE TRÂNSITO (SENATRAN). Registro Nacional de veículo automotores, abril 2022. Brasília (DF), 2022. Disponível em <www.gov.br>. Acesso em: 18 de maio de 2022.
- SEGRE, Thiago. Pavimentos flexíveis: análise dos defeitos em função da sua origem e suas consequências na vida útil. In: Simpósio de Prática de Engenharia Geotécnica na Região Centro-Oeste - Geocentro, n. 5, 2019, Brasília (DF).
- SERVIÇO SOCIAL DO TRANSPORTE (SEST); SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM DO TRANSPORTE (SENAT). Campanha nacional do SEST SENAT faz alerta sobre a importância da reutilização e reciclagem do material. Disponível em <<https://www.sestsenat.org.br/noticia/cerca-de-450-mil-toneladas-de-pneus-sao-descartados-por-ano-no-brasil>>. Acesso em: 12 de maio de 2022.
- SILVA, Jessé; PEREIRA, Igor; PINHEIRO, Érika. Análise da viabilidade técnica da utilização de resíduos de borracha de pneus em pavimentos asfálticos. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba (PR), v. 7, n. 11, p. 108529-108544, novembro, 2021.
- SILVA, Ruam. **Utilização da análise envoltória de dados na otimização de um modelo de logística reserva de pneus inservíveis para Fortaleza**. Dissertação de Pós-graduação – Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará. Fortaleza (CE), 2015.
- SOARES, Arthur; OLIVEIRA, Douglas; VASCONCELOS, Lívia; SANTOS, Heryclles; HOLANDA; Érika.

-
- Incorporação da borracha para pavimentação asfáltica. Revista **Ciências Exatas e tecnológicas**, Maceió (AL), v. 3, p. 133-146, novembro, 2016.
- TEIXEIRA, Luan; ARAUJO, Otávio. **Estudo das vantagens do asfalto-borracha em relação ao asfalto convencional**. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Evangélica. Anápolis (GO), 2018.
- TEM SUSTENTÁVEL. Reciclagem de pneus é a saída para uma pavimentação saudável. São Paulo, 2017. Disponível em <<https://www.temsustentavel.com.br/reciclagem-de-pneus-pavimentacao/>>. Acesso em: 12 de maio de 2022.
- UTEP DO BRASIL. Chips de pneus. Guarulhos (SP), 2022. Disponível em <<https://www.utep.com.br/chips-de-pneus.php>>. Acesso em: 18 de maio de 2022.
- UTEP DO BRASIL. Granulado de borracha. Guarulhos (SP), 2022. Disponível em <<https://www.utep.com.br/granulado-de-borracha.php>>. Acesso em: 18 de maio de 2022.
- VUCOVIC, Nicolas. **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.