



INSTITUTO FEDERAL DE MINAS GERAIS
CAMPUS AVANÇADO PIUMHI
BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

MATHEUS FELIPE ANDRADE DA SILVA

**ESTUDO COMPARATIVO DO CUSTO DE IMPLANTAÇÃO E MANUTENÇÃO DO
CONCRETO BETUMINOSO USINADO A QUENTE E DO ASFALTO-BORRACHA,
APLICADOS COMO REVESTIMENTO DE PAVIMENTOS**

Piumhi

2024

MATHEUS FELIPE ANDRADE DA SILVA

**ESTUDO COMPARATIVO DO CUSTO DE IMPLANTAÇÃO E MANUTENÇÃO DO
CONCRETO BETUMINOSO USINADO A QUENTE E DO ASFALTO-BORRACHA,
APLICADOS COMO REVESTIMENTO DE PAVIMENTOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Bacharelado em Engenharia Civil, ofertado pelo *campus* Avançado Piumhi do Instituto Federal de Minas Gerais, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Bacharel.

Orientador: Thiago Pastre Pereira

Piumhi

2024

S586e Silva, Matheus Felipe Andrade da.

Estudo comparativo do custo de implantação e manutenção do concreto betuminoso usinado a quente e do asfalto-borracha, aplicados como revestimento de pavimentos [manuscrito] / Matheus Felipe Andrade da Silva. – 2024. 50 f. : il. color.

Orientador: Thiago Pastre Pereira.

Trabalho de Conclusão de Curso (bacharelado) – Instituto Federal Minas Gerais. *Campus* Avançado Piumhi, 2024.

1. Pavimentos. 2. Pavimento de asfalto - materiais. 3. Pavimentos de betume. 4. Pavimentos de asfalto. Pavimentos flexíveis. I. Pereira, Thiago Pastre. II. Instituto Federal de Minas Gerais. *Campus* Avançado Piumhi. III. Título.

CDD 625.8

Catálogo: Andreia Cristina Damasceno - CRB-6/1974



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS GERAIS
Campus Avançado Piumhi
Diretoria de Ensino
Docentes Campus Avançado Piumhi
Rua Severo Veloso 1880 - Bairro Bela Vista - CEP 37925-000 - Piumhi - MG
(37)3371-3353 - www.ifmg.edu.br

Matheus Felipe Andrade da Silva

**ESTUDO COMPARATIVO DO CUSTO DE IMPLANTAÇÃO E MANUTENÇÃO DO
CONCRETO BETUMINOSO USINADO A QUENTE E DO ASFALTO-BORRACHA,
APLICADOS COMO REVESTIMENTO DE PAVIMENTOS**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado ao Instituto Federal de Ciência e Tecnologia de Minas Gerais como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em 11 de outubro de 2024 pela banca examinadora:



Documento assinado eletronicamente por **Thiago Pastre Pereira, Professor**, em 22/10/2024, às 10:16, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Patrícia Vieira Medeiros, Professor(a) Substituto(a)**, em 22/10/2024, às 10:38, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Felipe da Silva Alves, Professor**, em 22/10/2024, às 12:37, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Carla Cristiane Silva, Professora**, em 22/10/2024, às 12:38, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Stella Maria Gomes, Professora**, em 22/10/2024, às 16:31, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



A autenticidade do documento pode ser conferida no site <https://sei.ifmg.edu.br/consultadocs> informando o código verificador **2078163** e o código CRC **D2C98C8D**.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela força e sabedoria concedida.

Agradeço à minha família, por serem meus pilares de suporte, amor e encorajamento incondicional.

Agradeço à minha namorada que esteve ao meu lado em cada passo desta jornada.

Agradeço ao meu orientador, Thiago Pastre, pelo conhecimento compartilhado, pela paciência e orientações precisas que me ajudaram a alcançar meu objetivo.

Agradeço a todos os professores e amigos do IFMG que me deram suporte e contribuíram para a minha formação.

“O êxito da vida não se mede pelo caminho que você conquistou, mas sim pelas dificuldades que superou no caminho.”

Abraham Lincoln.

RESUMO

O transporte rodoviário é o meio mais utilizado no Brasil, seja para deslocamento de pessoas ou de cargas, no entanto, as más condições de grande parte das rodovias geram desconforto aos usuários, uma vez que colocam a segurança em risco e danificam os pneus, aumentando a quantidade de pneus inservíveis que são descartados no meio ambiente incorretamente. Uma forma de reaproveitamento desses pneus é a inclusão da borracha no ligante asfáltico, que vem sendo bastante utilizada para aumentar a resistência e a vida útil das malhas viárias. Diante disso, o principal objetivo deste trabalho foi comparar o asfalto convencional (CBUQ) e o asfalto-borracha, verificando os pontos positivos e negativos de cada um, a fim de encontrar soluções viáveis para amenizar os impactos negativos nas rodovias. Foram realizados estudos bibliográficos em artigos, trabalhos de conclusão de curso (TCCs), entre outros materiais que tratam do tema. Com a realização deste trabalho, esperou-se verificar que a técnica de reaproveitamento da borracha no pavimento asfáltico é viável tanto em relação à qualidade quanto à sustentabilidade, quando comparada com a utilização do asfalto convencional, reduzindo assim os custos de manutenções periódicas e a quantidade de pneus descartados de forma incorreta. Com os dados encontrados, foi possível verificar que a utilização de revestimento com asfalto-borracha apresenta um aumento no custo da obra, que pode ser justificado pelo alto custo para elevar as temperaturas de usinagem e, por outro lado, o custo de manutenção é mais barato que o asfalto convencional, implicando significativas economias para os cofres públicos e concessionárias. Portanto, apesar do asfalto convencional apresentar um investimento inicial menor que o asfalto-borracha, a longo prazo ele necessita de mais manutenções, o que torna seu custo benefício inviável.

Palavras-Chave: pavimentos; pavimento de asfalto - materiais; pavimentos de betume; pavimentos de asfalto; pavimentos flexíveis.

ABSTRACT

Road transport is the most widely used means of transport in Brazil, whether for moving people or cargo. However, the poor conditions of most highways cause discomfort to users, since they put safety at risk and damage tires, increasing the amount of unusable tires that are improperly discarded into the environment. One way to reuse these tires is to include rubber in the asphalt binder, which has been widely used to increase the resistance and useful life of road networks. Therefore, the main objective of this study was to compare conventional asphalt (CBUQ) and rubberized asphalt, verifying the positive and negative points of each, in order to find viable solutions to mitigate the negative impacts on highways. Bibliographic studies were carried out in articles, course completion papers (TCCs), among other materials that deal with the subject. By carrying out this work, it was expected to verify that the technique of reusing rubber in asphalt pavement is viable in terms of both quality and sustainability, when compared to the use of conventional asphalt, thus reducing the costs of periodic maintenance and the amount of tires discarded incorrectly. With the data found, it was possible to verify that the use of rubber-asphalt paving presents an increase in the cost of the work, which can be justified by the high cost of raising the machining temperatures and, on the other hand, the maintenance cost is cheaper than conventional asphalt, implying significant savings for the public coffers and concessionaires. Therefore, although conventional asphalt presents a lower initial investment than rubber-asphalt, in the long term it requires more maintenance, which makes its cost-benefit unviable.

Keywords: flooring; asphalt pavement - materials; bitumen pavements; asphalt pavements; flexible floors.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Fluxograma da metodologia de estudo	16
Figura 2 - Rodovia dos Imigrantes	18
Figura 3 - Rodovia Anchieta	18
Figura 4 - Rodoanel Mário Covas.....	19
Figura 5 - Faixas em pavimento rígido	19
Figura 6 - Tipos de pavimentos e suas camadas	21
Figura 7 - Classificação das misturas asfálticas em função da temperatura de produção	23
Figura 8 - Fluxograma de pneus descartados	27
Figura 9 - Fluxograma das vantagens do asfalto-borracha	28
Figura 10 - Simulador de tráfego UFRGS	30
Figura 11 - Simulador de tráfego	30
Figura 12 - Etapas do processo úmido.....	32
Figura 13 - Etapas do processo seco	33
Figura 14 - Trilha de roda BR-354	34
Figura 15 - Exsudação	35
Figura 16 – Painela no pavimento BR-354	36
Figura 17 - Trincas no pavimento BR-354.....	36

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Vantagens e desvantagens dos três tipos de pavimentos.....	21
Quadro 2 - Comparativo entre o asfalto convencional e o asfalto-borracha.....	29
Quadro 3 - Quantidade de massa asfáltica para camada de espessura diferente	39
Quadro 4 - Quantidade de massa asfáltica para camada com mesma espessura ...	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Custos CAP 50/70 comparado ao Asfalto-borracha.....	39
Tabela 2 - Comparativo entre custos do revestimento convencional x revestimento asfalto-borracha	40
Tabela 3 - Custos CAP 50/70 comparado ao AB22.....	42
Tabela 4 – Comparativo entre custos do asfalto convencional x asfalto-borracha....	42
Tabela 5 - Custo de manutenção + execução revestimento convencional x revestimento asfalto-borracha.....	44

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Justificativa	14
2	OBJETIVOS	14
2.1	Objetivo Geral	14
2.2	Objetivos específicos	14
3	METODOLOGIA	15
4	REFERENCIAL TEÓRICO	16
4.1	Pavimento	16
4.1.1	<i>Pavimento rígido</i>	17
4.1.2	<i>Pavimento semirrígido</i>	19
4.1.3	<i>Pavimento flexível</i>	20
4.1.4	<i>Comparação dos tipos de pavimentos</i>	21
4.2	Concreto Asfáltico	22
4.2.1	<i>Misturas quentes</i>	22
4.2.2	<i>Misturas mornas e semi-mornas</i>	23
4.2.3	<i>Misturas frias</i>	24
4.3	Pavimentos com utilização de resíduos de borracha	24
4.4	Asfalto-borracha	25
4.4.1	<i>Asfalto-borracha AB8 e AB22</i>	26
4.5	Reutilização dos pneus	26
4.6	Vantagens do uso de resíduos de borracha no asfalto	28
4.7	Processo de fabricação do asfalto-borracha	31
4.7.1	<i>Processo Úmido</i>	31
4.7.2	<i>Processo Seco</i>	32
4.8	Propriedades e manifestações patológicas em pavimentos	33
4.8.1	<i>Deformação por Fluência</i>	34

4.8.2 Trilhas de Roda.....	34
4.8.3 Exsudação	35
4.8.4 Panela.....	35
4.8.5 Trincas.....	36
4.9 Custo	37
4.10 Especificações da pavimentação asfáltica	37
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	38
5.1 Estudo 1: Estado do Paraná.....	38
5.2 Estudo 2: Estado de Goiás	41
5.3 Custo de manutenção	43
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	45
REFERÊNCIAS.....	47

1 INTRODUÇÃO

Muitas das rodovias brasileiras encontram-se em uma situação precária, possivelmente, devido aos seguintes fatores: utilização de materiais de má qualidade, a falta de manutenção, mau dimensionamento, não execução dos serviços conforme o planejado, elevado fluxo de automóveis, excesso de carga dos caminhões e condições climáticas adversas. Dessa forma, aumenta o desgaste da pavimentação, causa patologias e reduz a vida útil do asfalto, o que gera desconforto aos usuários, coloca a segurança em risco e danifica os pneus.

A pavimentação adequada de uma via de circulação de veículos possibilita a melhoria operacional para o tráfego, na medida em que é criada uma superfície mais regular, mais aderente, menos ruidosa diante da ação dinâmica dos pneumáticos.

Ao dimensionar um pavimento, deve-se levar em consideração as características e as condições locais a fim de garantir que a estrutura do pavimento seja adequada para suportar o tráfego e fornecer uma vida útil satisfatória. Algumas dessas características são: tráfego previsto, classificação do solo, clima, materiais do pavimento, espessura do pavimento, durabilidade, drenagem, método de construção, nível do serviço e normas e especificações (DNIT, 2006).

O bom dimensionamento de um pavimento envolve diversos materiais buscando garantir a durabilidade, resistência e segurança da estrutura. Alguns dos principais materiais utilizados nesse processo incluem: subleito, base, revestimento asfáltico, geossintéticos, drenagem e materiais reciclados, como a borracha de pneus.

A adição da borracha nos ligantes asfálticos para produzir o asfalto-borracha marca um avanço significativo na indústria de pavimentação, combinando a durabilidade do asfalto convencional com benefícios ambientais derivados da reciclagem de pneus. Esse tipo de asfalto é produzido misturando-se grãos de borracha reciclada de pneus usados com a tradicional mistura asfáltica.

Essa inclusão tornou-se eficaz para amenizar a quantidade de pneus descartados incorretamente, sendo este processo muito utilizado nos EUA. Já no Brasil, o asfalto-borracha vem sendo pouco utilizado devido ao custo inicial ser mais alto que o asfalto convencional, no entanto, o seu uso mais frequente poderia apresentar um aumento da durabilidade, flexibilidade do produto final e redução dos custos de manutenções periódicas.

O descarte inapropriado do pneu, bem como a sua difícil decomposição, está agravando a deterioração do meio ambiente, visto que, apresentam um risco passivo ambiental, de saúde pública e social, quando não tratados de maneira correta.

1.1 Justificativa

Um dos maiores problemas enfrentados nas rodovias brasileiras é o elevado número de deformações na pavimentação, principalmente nas rodovias não pedagiadas, que podem causar desconforto durante o tráfego e insegurança aos usuários.

Em vista disso, a escolha do tema deste trabalho está relacionada ao impacto na melhoria das infraestruturas rodoviárias e ao desenvolvimento sustentável, visto que, o asfalto-borracha é uma tecnologia promissora para solucionar a situação precária da maioria das rodovias brasileiras.

Dessa forma, o trabalho tem a finalidade de fazer um comparativo entre dois tipos de pavimentos, que são o asfalto convencional e o asfalto-borracha, analisando fatores como planejamento eficiente, manutenção adequada, custo do processo e aplicação, buscando soluções viáveis para amenizar os impactos negativos nas rodovias, como patologias, redução da vida útil do asfalto e danos aos usuários.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Analisar a viabilidade econômica nos custos que envolvem a execução e manutenção.

2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos são:

- entender o processo de produção do asfalto-borracha;
- compreender as manifestações patológicas dos pavimentos;

- descrever as possíveis melhorias que podem ocorrer com a junção de borracha de pneu no asfalto convencional;
- fazer um comparativo dos custos envolvidos na execução e manutenção do asfalto convencional e asfalto-borracha.

3 METODOLOGIA

Este trabalho trata-se de um estudo bibliográfico, de caráter descritivo, pois foi focado em descrever um estudo ou conhecimento que já existe. A pesquisa é classificada como aplicada, tendo como objetivo solucionar problemas práticos e também classificada como mista por combinar aspectos qualitativos e quantitativos, envolvendo a análise de dados numéricos e compreendendo os contextos em que a tecnologia é aplicada.

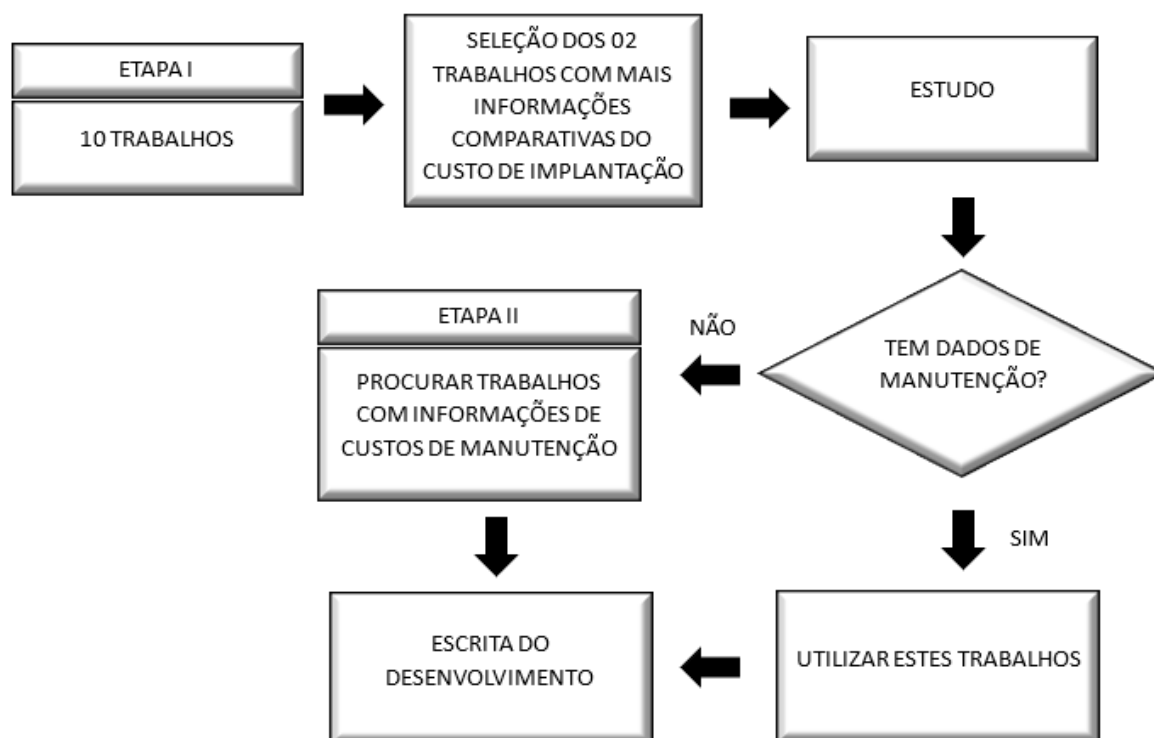
Foram realizadas buscas no Google sobre a literatura de estudos semelhantes, artigos completos publicados, trabalhos de conclusão de curso (TCCs), dissertações de mestrado, teses de doutorado e materiais que tratam do tema proposto.

Foram abordados assuntos relacionados com a reutilização de pneus inservíveis, ligantes asfálticos, asfalto convencional e execução de pavimentos com asfalto-borracha, analisando vantagens e desvantagens do uso de cada tipo de pavimento.

Como pode ser observado no fluxograma da figura 1, para fazer um comparativo entre os dois tipos de pavimento (CBUQ e asfalto-borracha), foram encontrados 10 (dez) trabalhos abordando os temas: “CBUQ com borracha”, “comparativo entre CBUQ e o asfalto-borracha”, “comparativo entre pavimento flexível e rígido” e “custo de implantação do asfalto-borracha”. Em seguida, foram escolhidos, entre os dez trabalhos, dois estudos que mais traziam informações comparativas do custo de implantação, e dados para avaliação e desenvolvimento do trabalho.

Como não foram encontrados registros de manutenção para os dois casos estudados, foi criada uma segunda etapa com pesquisas em outros trabalhos científicos, cujo termo da busca foi “custo de manutenção do CBUQ e do asfalto-borracha”, a fim de auxiliar na avaliação da viabilidade financeira.

Figura 1 - Fluxograma da metodologia de estudo



Fonte: Próprio autor, 2024.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 Pavimento

Os pavimentos são estruturas fundamentais na infraestrutura de transportes, projetados para suportar as cargas dinâmicas e estáticas dos veículos, distribuindo essas cargas para o solo subjacente de maneira eficiente, proporcionando uma superfície resistente e segura para o tráfego de veículos. Os pavimentos são comumente encontrados em rodovias, aeroportos, estacionamentos e outras instalações de transporte (FERREIRA, 2021).

No Brasil, 95% dos pavimentos são executados com revestimentos asfálticos utilizando a mistura convencional do material, no entanto, como 58% do transporte de cargas do país é realizado através do modal rodoviário, alguns locais sofrem com condições mais agressivas de tráfego, que acarretam limitações ao cimento asfáltico, podendo ocasionar rupturas da pavimentação. Dessa forma, o asfalto danificado, juntamente com a falta de fiscalização e manutenção, tem por

consequência pavimentos de baixa qualidade e durabilidade, gerando um risco aos usuários (MENDES, 2019).

Os pavimentos rodoviários são constituídos por material asfáltico ou concreto, sendo classificados como rígidos, semirrígidos e flexíveis, onde leva-se em consideração a deformabilidade e o aspecto do material. Os fatores analisados na escolha do tipo de pavimento serão: o fluxo do tráfego, da resistência do solo e da qualidade dos materiais à disposição.

Pavimentar uma via de circulação de veículos é obra civil que enseja, antes de tudo, a melhoria operacional para o tráfego, na medida em que é criada uma superfície mais regular (garantia de melhor conforto no deslocamento do veículo), uma superfície mais aderente (garantia de mais segurança em condições de pista úmida ou molhada), uma superfície menos ruidosa diante da ação dinâmica dos pneumáticos, (garantia de melhor conforto ambiental em vias urbanas e rurais), seja qual for a melhoria física oferecida (BALBO, 2017, p.15).

De acordo com o DNIT (2006), o tipo de pavimento mais utilizado é o flexível (pavimento asfáltico), que é composto por uma mistura de ligantes asfálticos e agregados (graúdos e miúdos).

A escolha entre pavimento rígido, semirrígido ou flexível depende de vários fatores, incluindo o tipo de tráfego, as condições do solo e as considerações econômicas. Cada tipo de pavimento tem suas próprias vantagens e desvantagens, e a seleção deve ser feita considerando as necessidades específicas de cada projeto.

4.1.1 Pavimento rígido

O pavimento rígido é um revestimento que tem uma elevada rigidez em relação as camadas inferiores, absorvendo praticamente todo carregamento imposto a estrutura. Esse pavimento consiste em uma placa de concreto simples com ou sem barras de ligação, ou mesmo de concreto armado, com alta resistência, que distribui ao subleito os carregamentos provenientes das cargas aplicadas na superfície, tendo como elemento de contribuição uma camada intermediária denominada sub-base, com características estruturais semelhantes a base de um pavimento flexível (DNIT, 2006).

Esse tipo de revestimento é utilizado em estradas, pistas de aeroportos, pátios industriais e outras infraestruturas de transporte. Ao contrário dos pavimentos

flexíveis, que são compostos por camadas de materiais flexíveis como asfalto, os pavimentos rígidos são geralmente construídos com concreto de Cimento Portland (FILHO, 2018).

No Brasil, três exemplos relevantes da utilização do pavimento rígido são: a rodovia dos Imigrantes (Figura 2) e rodovia Anchieta (Figura 3) que são algumas das principais rodovias do país, ligando a cidade de São Paulo à baixada santista - e o Rodoanel Mário Covas (Figura 4), da cidade de São Paulo, que é uma via expressa com 176 quilômetros de extensão (ALMEIDA, 2015).

Figura 2 - Rodovia dos Imigrantes



Fonte: LOBO, 2024.

Figura 3 - Rodovia Anchieta



Fonte: DANTAS, 2024.

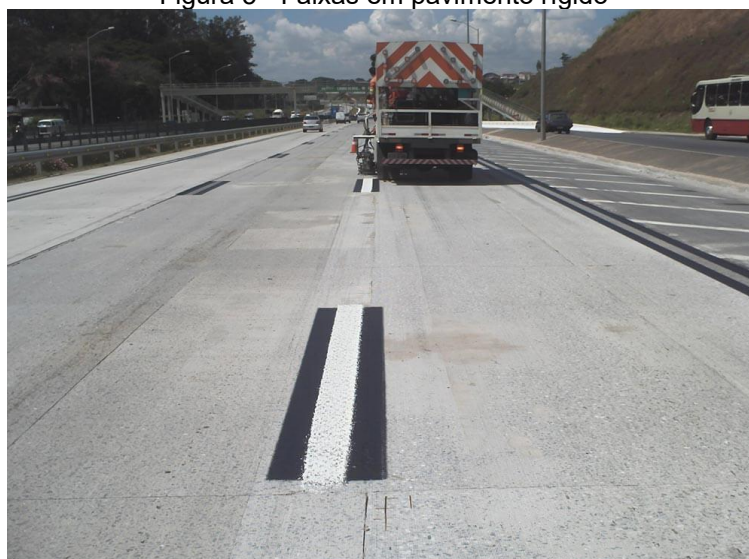
Figura 4 - Rodoanel Mário Covas



Fonte: Prefeitura de Itaquaquecetuba, 2024.

De acordo com Moreira (2013), como o pavimento de concreto apresenta cor clara, ele reflete muito mais luz que o pavimento flexível, diminuindo a distância de visibilidade. Dessa forma, é necessário utilizar faixas brancas com contorno preto que proporcionem melhor visibilidade tanto noturna quanto diurna (Figura 5).

Figura 5 - Faixas em pavimento rígido



Fonte: MOREIRA, 2013.

4.1.2 Pavimento semirrígido

O pavimento semirrígido é uma alternativa entre os pavimentos rígidos (concreto) e os pavimentos flexíveis (asfalto). Esse tipo de pavimento é geralmente composto por uma camada de base (Figura 6) constituída por materiais granulares,

como brita, e uma camada superior formada por uma mistura de solo-cimento ou solo-cal (RAMOS *et al.*,2017).

Ainda segundo o mesmo autor, o pavimento semirrígido oferece uma alternativa equilibrada entre os pavimentos rígidos e flexíveis, sendo uma escolha viável em muitos contextos. A seleção do tipo de pavimento deve levar em consideração uma avaliação abrangente das condições locais, demandas de tráfego e objetivos do projeto para garantir o desempenho ideal ao longo do tempo.

4.1.3 Pavimento flexível

De acordo com Senço (2007), nos pavimentos flexíveis os enchimentos são combinados com uma mistura de aditivos asfálticos e ligantes, sendo constituídos pelas seguintes camadas: subleito, reforço do subleito (se necessário), sub-base, base e revestimento (Figura 6).

Cada uma dessas camadas possui uma determinada função:

- subleito: é a primeira camada na qual será apoiado todo o pavimento. Em alguns casos, é necessária a correção de falhas, sendo feita a regularização que não é considerada uma camada;
- reforço de subleito: é a camada granular que serve para melhorar as qualidades do subleito e reduzir espessura da sub-base;
- sub-base: encontra-se entre o subleito regularizado e a camada de base e é executada quando, por razões de ordem econômica, for conveniente reduzir a espessura de base;
- base: é executada para resistir e distribuir ao subleito os esforços verticais do tráfego;
- revestimento: camada acima da base, que recebe diretamente as ações verticais e horizontais do rolamento dos veículos, sendo destinada para melhores condições de tráfego e resistente ao desgaste.

O planejamento dessas camadas tem por objetivo atender toda a parte estrutural e operacional do tráfego, de maneira mais durável e no menor custo possível, a fim de aliviar pressões sobre as camadas inferiores que são menores (LEITE, 2018).

Figura 6 - Tipos de pavimentos e suas camadas



Fonte: PEREIRA, 2014.

Para escolher o tipo de pavimento que será implantado é importante fazer um comparativo entre as vantagens e desvantagens de cada um na área em estudo.

4.1.4 Comparação dos tipos de pavimentos

A escolha entre os tipos de pavimento depende das condições locais, do tráfego esperado, do orçamento disponível e das preferências específicas do projeto, explorando as vantagens e desvantagens de cada um (Quadro 1).

Quadro 1 - Vantagens e desvantagens dos três tipos de pavimentos

	Flexível	Semirrígido	Rígido
Vantagens	Baixo custo inicial	Custo inicial intermediário entre o pavimento flexível e o rígido	Adequado para tráfego pesado e intenso
	Capacidade de absorver deformação do solo	Boa resistência à fadiga	Pode suportar variações de temperatura
	Facilidade de reparo e manutenção	Menos suscetível a fissuras quando comparado ao flexível	Resistente a deformações plásticas

Desvantagens	Menor durabilidade	Requer manutenção periódica	Alto custo inicial
	Maior suscetibilidade a deformações permanentes	Menor durabilidade quando comparado ao rígido	Dificuldade de reparo em caso de danos graves
	Exige recapeamentos periódicos	Pode exigir técnicas específicas de construção	Menor capacidade de absorção de impacto

Fonte: Adaptado de: PEREIRA, 2014.

Para cada tipo de pavimento existe um tipo de material a ser utilizado. No caso da execução dos pavimentos flexíveis, pode-se utilizar materiais betuminosos como o cimento asfáltico, piche, misturas quentes ou frias, entre outros.

4.2 Concreto Asfáltico

No Brasil, a mistura mais utilizada para pavimentação é o concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ), que é definido como um material para construção de revestimentos de pavimentação, obtido através da mistura e homogeneização de agregados minerais graduados, de material fino de enchimento - *filler* - e de cimento asfáltico de petróleo (OLIVEIRA, 2019).

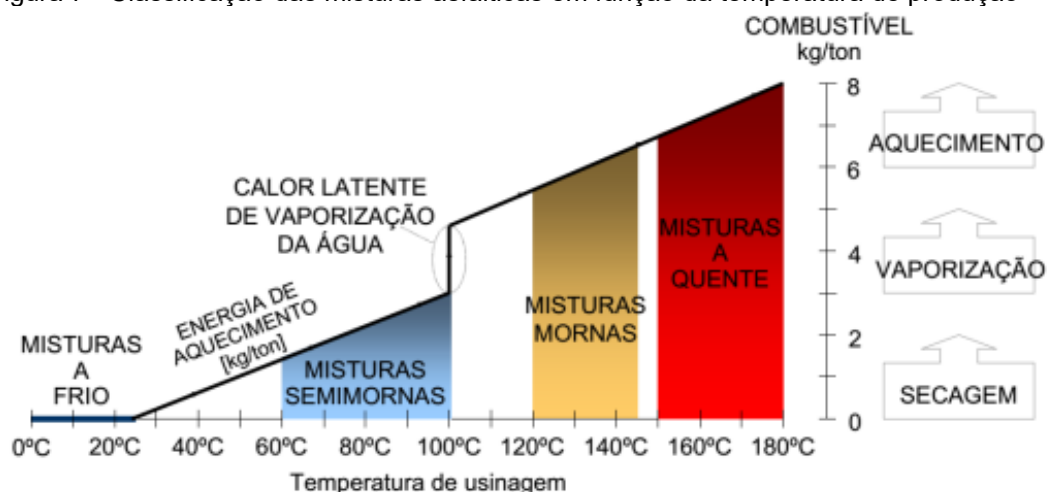
O CBUQ é a junção de cimento asfáltico e agregados que são aquecidos a uma determinada temperatura, de acordo com as propriedades (viscosidade e temperatura) do ligante.

4.2.1 Misturas quentes

O concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ) é uma mistura entre agregados minerais (britas, pó-de-pedra e *filler*) e o cimento asfáltico de petróleo (CAP) que é classificado de acordo com a sua consistência medida por penetração de agulha a 25°C (CAP 30/45, CAP 50/70, entre outros) em décimos de milímetro. A faixa de temperatura de usinagem dessa mistura gira em torno de 150°C a 180°C

(Figura 7), sendo utilizado aproximadamente 95% de agregados minerais para dar a resistência mecânica e estabilidade, e 5% de CAP que tem a função de promover a aglutinação, flexibilidade, impermeabilidade e durabilidade da mistura asfáltica (BRITA PINHAL, 2023).

Figura 7 - Classificação das misturas asfálticas em função da temperatura de produção



Fonte: PROWELL, 2007, adaptado por MOTTA, 2011.

4.2.2 Misturas mornas e semi-mornas

As misturas mornas e semi-mornas são preparadas em temperaturas intermediárias das misturas à quente e à frio, geralmente são executadas com aquecimento parcial dos agregados. Elas se diferem pela temperatura de mistura, uma vez que, se a temperatura de mistura na usina é abaixo de 100°C a mistura é semi-morna e acima, morna (Figura 7) (MERIGHI, 2015).

As misturas mornas referem-se a tecnologias desenvolvidas para reduzir as temperaturas de 30°C a 50°C durante a usinagem e compactação das misturas asfálticas em campo. Essa mistura tem como benefício a diminuição do consumo de energia, a redução de emissões de gases do efeito estufa, aumento da vida útil do revestimento asfáltico e a melhoria da saúde dos trabalhadores envolvidos no processo, sendo uma tecnologia cada vez mais aplicada em diversos países, e que pode ser executada através de diferentes técnicas e diversos tipos de aditivos (SINICESP, 2016).

4.2.3 Misturas frias

No pré-misturado a frio (PMF), conforme visto na figura 7, os agregados graúdos e miúdos são unidos à temperatura ambiente, formando a emulsão asfáltica que é uma dispersão do CAP em fase aquosa. Nas misturas frias, diferente das misturas a quente, podem ser utilizados agregados úmidos, sem a necessidade de secagem dos materiais pétreos para que haja a aderência do ligante com os agregados. De acordo com a origem mineral do agregado se torna necessário adicionar cal para que haja adesividade com o CAP (BRITA PINHAL, 2023).

Ainda segundo o mesmo autor, o PMF é cerca de 50% mais barato do que o CBUQ, no entanto, as misturas frias são mais sensíveis a ação da água e do ar, havendo maior desgaste ao uso e envelhecimento acelerado quando comparado ao CBUQ, necessitando de um maior volume de vazios para que a água evapore.

Dentre essas misturas, a mistura quente apresenta maior qualidade e maior resistência em relação a mistura a frio, sendo a mais utilizada devido à sua alta resistência mecânica, em contrapartida causa graves impactos ambientais. Já o PMF com um traço definido e bem projetado, pode se tornar uma melhor alternativa para vias com baixo volume de tráfego.

Se nas misturas houver qualquer tipo de alteração nas características do teor do ligante asfáltico, pode ocorrer patologias, como a deformação por fluência, trilhas de roda, exsudação, panelas e aparecimento de trincas (BERNUCCI *et al.*, 2008).

4.3 Pavimentos com utilização de resíduos de borracha

A adição de borracha em pavimentos, tanto rígido quanto flexível, é uma prática que visa melhorar as propriedades do pavimento e promover a sustentabilidade através do aproveitamento de pneus inservíveis (MENDES, 2019).

Quando a borracha é adicionada à mistura de concreto, resulta em um material com menor rigidez quando comparado com o concreto comum. Com isso, tem-se uma deformação maior, aumentando a resistência à fadiga do pavimento rígido, tornando-o mais flexível e menos propenso a fissuras (SILVEIRA, 2016).

Ainda segundo o mesmo autor, a borracha contribui para a capacidade de absorção de impacto, aumenta a durabilidade do pavimento rígido, principalmente em

condições de tráfego intenso e variações climáticas e contribui para a redução do ruído, proporcionando uma solução mais silenciosa em comparação com o concreto convencional.

Thomas e Gupta (2015) *apud* Pereira (2016) verificaram que o concreto com borracha tem melhor resistência à abrasão quando comparado com o concreto convencional. Diante disso, sugerem sua utilização em pisos de concreto, estradas e vertedouros de barragens, obras das quais sofrem por ações abrasivas aplicadas pela movimentação de veículos.

Em relação ao pavimento flexível, a adição de borracha ao asfalto pode melhorar a resistência à fadiga, a elasticidade e a flexibilidade do pavimento, contribuindo para a capacidade de absorção de cargas e deformações, reduzindo a propensão a fissuras e deformações permanentes (SILVA, 2018).

4.4 Asfalto-borracha

No mundo, o asfalto modificado com borracha, vem sendo utilizado desde 1940, sendo que, nos Estados Unidos da América (EUA) aproximadamente, 70% da malha viária é desse material (GRECA, 2021).

Segundo Bertollo *et al.* (2003), uma rodovia não é planejada para manter-se por 60 anos, pois o asfalto tem uma vida útil definida, que gira em torno de 15 anos. Porém, na composição do pavimento, quando a borracha é aplicada corretamente, o asfalto pode resistir por 30 a 40 anos ou mais, devido ao aumento da flexibilidade e da durabilidade, reduzindo assim os custos de manutenções periódicas e a quantidade de pneus velhos sem nenhuma utilidade.

Após inúmeros testes realizados pela empresa Univias, em parceria com a Microsul (que tritura o pneu), Greca Asfaltos (que fabrica o material) e o centro de excelência em desenvolvimento de pavimentos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRS), foi inaugurado, em agosto de 2001, o primeiro trecho pavimentado com asfalto-borracha no Brasil. Esse trecho de 900m da BR-116, localizado entre Guaíba e Camaquã - RS, estabeleceu uma nova era para as estradas do país, visto que outras concessionárias e órgãos públicos começaram a usar essa técnica, e o Univias continua usando (GRECA, 2021).

Neste contexto, observa-se uma oportunidade de gerenciar melhor o passivo ambiental, o pneu inservível começa a fazer parte da matéria-prima e se torna

um grande aliado no modelo ambientalmente correto e na estratégia econômica (ZATARIN *et al.*, 2017).

Diante disso, no Brasil, o asfalto-borracha vem ganhando mais espaço nas obras de pavimentação, visto que o pavimento convencional gera alto valor em virtude da composição de suas camadas e custos com manutenções (ZATARIN *et al.*, 2017).

Segundo a Alesp (2023), o asfalto-borracha pode ser 40% mais resistente em relação ao asfalto convencional. Além disso, é mais aderente e mais silencioso, podendo durar, em média, 14 anos, enquanto o comum permanece intacto por 10 anos.

O asfalto-borracha, nas especificações AB8 e AB22, é uma inovação que combina as propriedades do asfalto convencional com os benefícios da borracha, oferecendo vantagens significativas.

4.4.1 Asfalto-borracha AB8 e AB22

O asfalto-borracha AB8 e AB22, de acordo com o DNIT (2010), representam avanços significativos na indústria de pavimentação, oferecendo uma solução durável, resistente e sustentável.

A diferença entre esses dois tipos de asfalto está relacionada à quantidade de borracha, sendo que o AB8 contém uma proporção menor de borracha quando comparado ao AB22.

4.5 Reutilização dos pneus

De acordo com a Aubicon (2023), o Brasil possui cerca de 211,2 milhões de habitantes com, aproximadamente, 108 milhões de veículos registrados até dezembro de 2020. Dessa forma, o pneu é um material que vem sendo produzido em grandes quantidades, e esse crescimento, aliado ao aumento da frota de veículos e ao descarte de 450 mil toneladas por ano, mostra que existe matéria-prima abundante.

Com o desenvolvimento de novas tecnologias, foi possível obter uma alternativa altamente viável para a empregabilidade da borracha do pneu, que é o asfalto-borracha, originado do preparo da mistura asfáltica e aproveitamento dos resíduos sólidos, como determina a resolução 307 do CONAMA, visto que, melhora

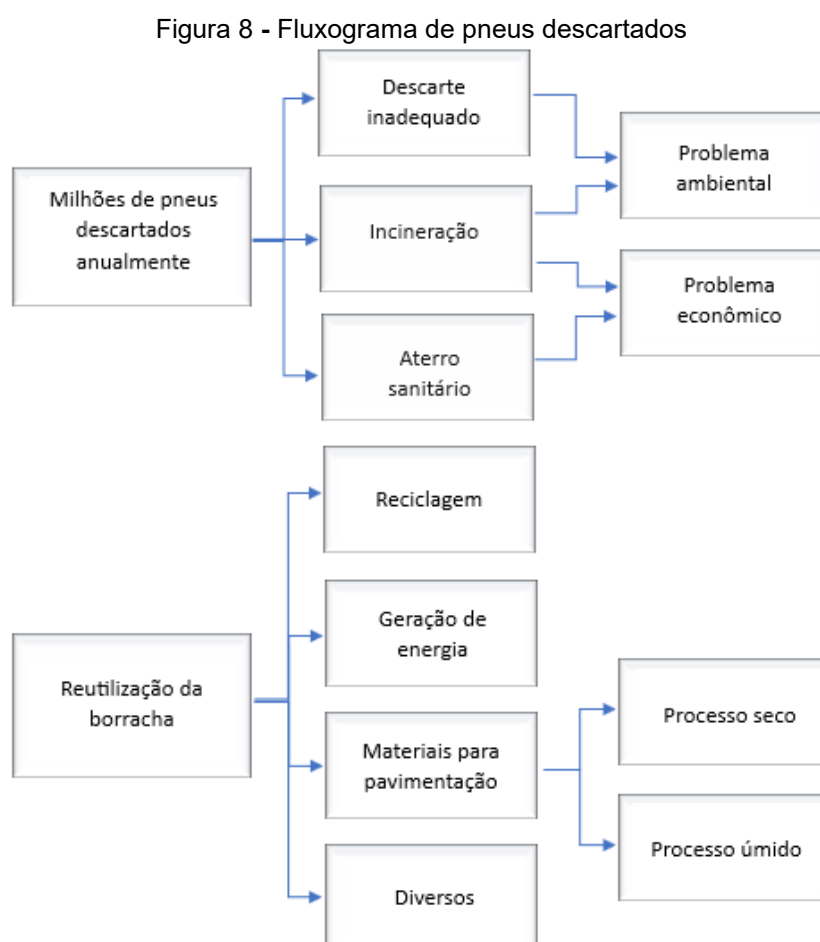
as características do pavimento como a resistência, aderência e permeabilidade (BRASIL, 2017).

O asfalto-borracha utiliza o pneu como ligante e evita que o mesmo se transforme em fonte de poluição, pois realiza a reciclagem adequada. Além disso, a borracha utilizada em conjunto com o asfalto convencional, resulta em um pavimento com propriedades superiores ao material utilizado.

Em média são coletados no Brasil, por ano, 342 mil toneladas de pneus velhos ou carcaças, sendo esse material a principal fonte para o asfalto-borracha, uma vez que, para cada quilômetro desse pavimento, são utilizados de 600 a 1000 pneus usados, dependendo da espessura da camada colocada sobre a pista (GLOBONEWS, 2023).

De acordo com Greca (2021), entre 2001 e 2021, foram utilizados 13 milhões de pneus inservíveis para fabricação do asfalto-borracha.

A figura 8 representa o fluxograma de pneus descartados tanto no processo de descarte inadequado quanto na reutilização da borracha.



Fonte: Adaptado de: ODA, 2001.

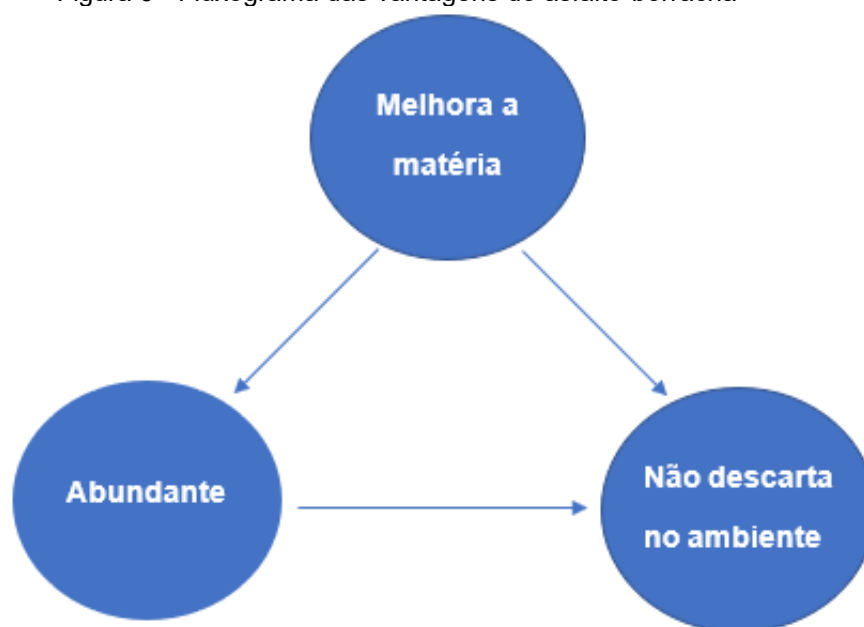
4.6 Vantagens do uso de resíduos de borracha no asfalto

A borracha apresenta propriedades que trazem melhorias à qualidade do ligante asfáltico, resultando em uma mistura mais resistente ao envelhecimento, ao aparecimento de deformações e trincas, bem como o aumento da flexibilidade e segurança dos usuários nas vias (MOZART *et. al.*, 2018).

A utilização de pneus inservíveis ao asfalto pode oferecer benefícios potenciais cumprindo o objetivo de melhorar as propriedades do pavimento, aumentar a durabilidade e o desempenho, além de contribuir com o meio ambiente (Figura 9) (SILVA *et al.*, 2021).

Ainda segundo o mesmo autor, é importante ressaltar que a eficácia da pavimentação com asfalto-borracha pode variar dependendo de diversos fatores, como a formulação do asfalto, a qualidade dos pneus reciclados e as condições locais de tráfego e clima, além do custo inicial ser mais elevado que o convencional, sendo viável avaliar de forma abrangente os custos e benefícios envolvidos antes de tomar uma decisão sobre sua implementação.

Figura 9 - Fluxograma das vantagens do asfalto-borracha



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

O quadro abaixo apresenta um comparativo das vantagens e desvantagens entre o asfalto convencional e o asfalto-borracha.

Quadro 2 - Comparativo entre o asfalto convencional e o asfalto-borracha

	Asfalto convencional	Asfalto-borracha	
Vantagens	Boa trabalhabilidade	Maior resistência às patologias	
	Baixo custo com usinagem	Maior impermeabilização	
	Facilidade de execução	Redução da espessura da camada	
	Temperaturas de aplicação mais baixas	Menos manutenções	
			Melhor aderência ao pavimento
			Maior viscosidade e elasticidade
			Redução do ruído de atrito
			Ótima resistência a intempéries
			Maior segurança e conforto aos usuários
			Aumento da vida útil do pavimento
		Contribui com o meio ambiente	
Desvantagens	Manutenções frequentes	Mão de obra qualificada	
	Maiores deformações por trincas	Custo com usinagem mais elevado	
	Revestimento mais espesso	Rigoroso controle de qualidade	
	Betume menos elástico e aderente	Exige altas temperaturas	

Fonte: Adaptado de: GRECA, 2009 e BALBO, 2017.

Vale ressaltar que a utilização do asfalto-borracha com adição de agregados minerais e a aplicação do concreto asfáltico são semelhantes aos procedimentos dos ligantes convencionais, porém, devido a maior viscosidade do asfalto-borracha, as temperaturas de mistura e de compactação são mais elevadas. A borracha moída pode ser utilizada como modificador do asfalto e como agregado em misturas asfálticas (ROSENO, 2005).

No ano de 2009, a Greca Asfaltos realizou testes comparativos entre o asfalto convencional e o asfalto-borracha em duas pistas do simulador de tráfego da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), sendo a pista da esquerda com asfalto-borracha e a da direita com asfalto convencional, como pode ser observado na figura abaixo (Figura 10).

Figura 10 - Simulador de tráfego UFRGS



Fonte: GRECA, 2009.

A pista da esquerda apresentou apenas uma trinca após 123.356 ciclos de um eixo de 10 tf e a da direita, apresentou diversas trincas após 90.303 ciclos.

Outros estudos foram realizados no Laboratório de Tecnologia de Pavimentação do Departamento de Engenharia de Transportes da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP), verificando a deformação permanente em revestimentos asfálticos por meio de um simulador. Foi analisado o comportamento referente à deformação permanente de misturas asfálticas modificadas tanto por asfalto convencional quanto por asfalto-borracha.

Para realizar esse estudo, duas placas foram submetidas ao simulador de tráfego (Figura 11).

Figura 11 - Simulador de tráfego



Fonte: GRECA, 2009.

A placa da esquerda confeccionada com asfalto convencional deformou-se 13% após apenas 10.000 ciclos, enquanto a da direita, com asfalto-borracha, deformou-se apenas 5% após 30.000 ciclos (GRECA, 2009).

Diante disso, as misturas asfálticas confeccionadas com asfalto-borracha apresentaram valores de deformação no simulador bem menores quando comparadas às misturas asfálticas com ligantes convencionais, mostrando-se menos suscetível à formação de trilhas de roda.

A integração da borracha às misturas asfálticas pode ser realizada de duas formas principais, que são: o processo úmido e o processo seco (NETO, 2016).

4.7 Processo de fabricação do asfalto-borracha

4.7.1 Processo Úmido

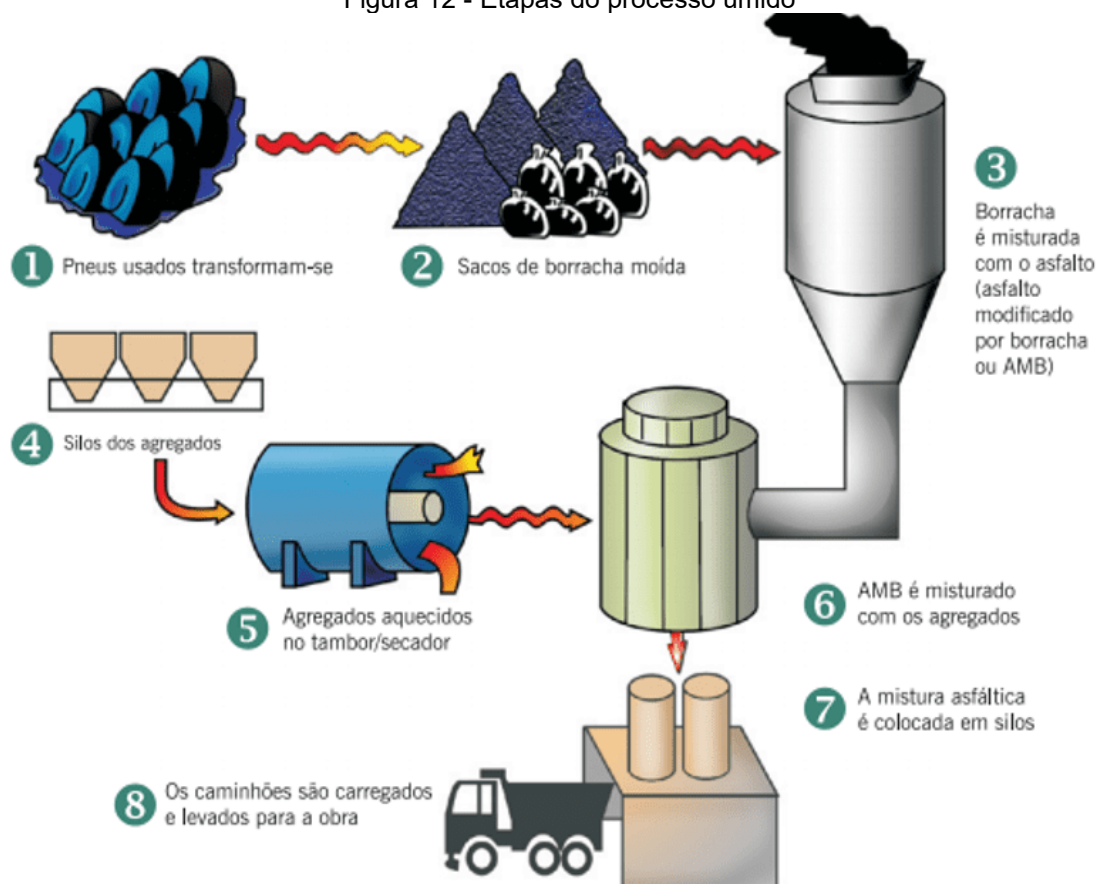
O processo consiste na combinação de um cimento asfáltico convencional, borracha granulada reciclada e se necessário, outros aditivos, como óleos extensores, que buscam melhorar a trabalhabilidade dos asfaltos-borracha ou melhorar a compatibilidade entre o ligante e a borracha (PILATI, 2008).

Ainda segundo Pilati (2008), nesse processo (Figura 12) a borracha granulada de pneus é misturada ao cimento asfáltico, que é aquecido a aproximadamente 190°C, para amolecer as partículas de borracha.

De acordo com Faxina (2017), no processo úmido, a quantidade de borracha adicionada varia de 5 a 25% em peso em relação ao cimento asfáltico, usualmente com partículas inferiores a 2 mm.

Nesse processo, o ligante deve ser beneficiado em temperaturas elevadas por agitação em alto cisalhamento, promovendo assim a desvulcanização (processo que converte resíduos de borracha em nova matéria-prima). Os fatores que influenciam no grau de modificação do ligante são: a proporção entre ligante e borracha, o uso de aditivos, a textura e granulometria da borracha, o tempo e temperatura da reação e a compatibilidade com a borracha (ODA, 2001).

Figura 12 - Etapas do processo úmido



Fonte: BERNUCCI *et al.*, 2008.

4.7.2 Processo Seco

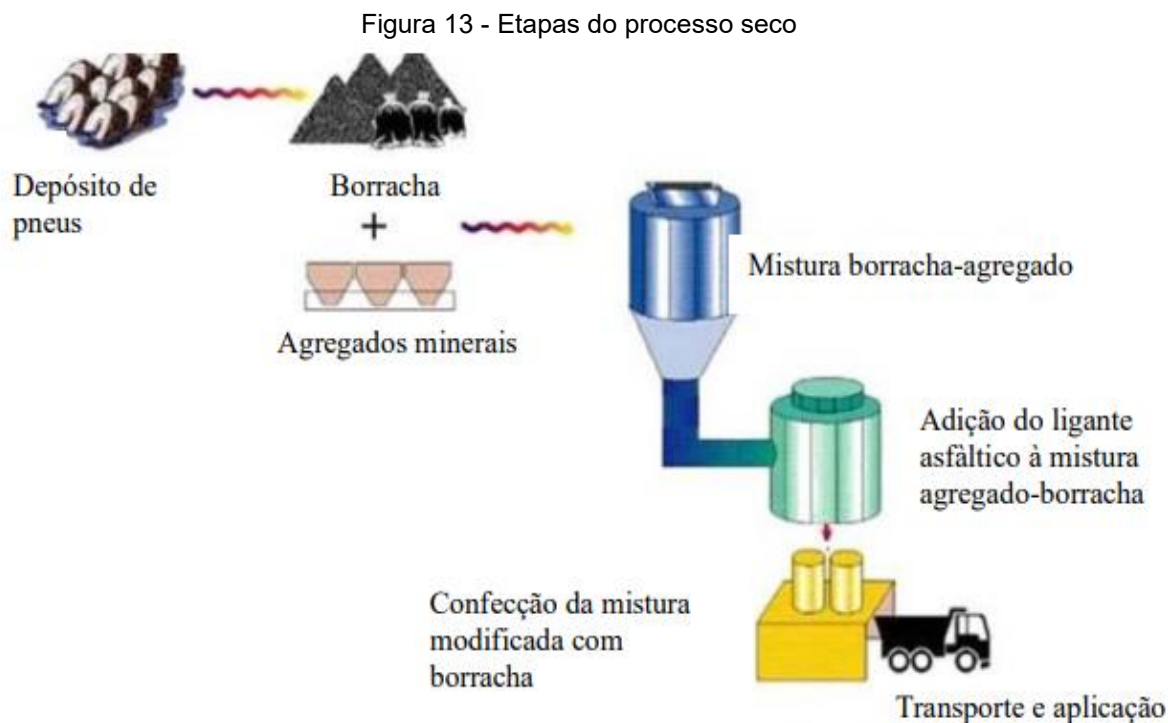
No processo seco (Figura 13), a borracha é triturada e misturada - a quente - junto com os agregados, que em conjunto do ligante, produzem o “agregado-borracha” (BERNUCCI *et al.*, 2008).

Neste processo, a borracha é adicionada ao agregado que já está aquecido a uma temperatura de aproximadamente 200°C, sendo misturada até a formação de uma mistura homogênea, por um tempo de, aproximadamente, 15 segundos. Em seguida, o ligante betuminoso é adicionado a esta mistura por meio de processo de usinagem (SILVA *et al.*, 2018).

De acordo com Faxina (2017), é inserido de 3 a 5% de borracha em relação à massa total de agregados minerais e a quantidade de borracha consumida nesse processo chega a ser 2 a 4 vezes maior que no processo úmido, uma vez que as partículas variam de 1,6 a 6,4mm.

A granulometria está diretamente relacionada ao comportamento entre o ligante e as partículas de borracha, visto que, quanto maior a superfície da borracha,

maior a área de contato, o que beneficia as reações durante curtos intervalos de tempo com baixas temperaturas (NETO, 2016).



Fonte: DANTAS NETO, 2004.

O produto final resultante no processo seco é denominado agregado-borracha, e no processo úmido, asfalto-borracha. O processo seco se restringe à aplicação em revestimento asfáltico, visto que, apresenta dificuldade de compactação das misturas, falta de homogeneidade e ruptura prematura dos revestimentos asfálticos. Já o processo úmido permite ser empregado em tratamentos superficiais, selagem de trincas, camadas de ligação e concreto asfáltico, sendo mais utilizado (FAXINA, 2017).

4.8 Propriedades e manifestações patológicas em pavimentos

Compreender as propriedades fundamentais dos pavimentos é importante para garantir o desempenho adequado ao longo do tempo, evitando que as manifestações patológicas, tais como deformação por fluência, trilhas de roda, exsudação, panela e trincas comprometam sua integridade.

4.8.1 Deformação por Fluência

A fluência é uma alteração mecânica que ocorre quando o material é submetido a cargas ou tensões constantes por um longo período de tempo. Ela é provocada em locais de intersecções e frenagem, onde há um deslizamento e desgaste do asfalto (DNIT, 2006).

4.8.2 Trilhas de Roda

As trilhas de roda (Figura 14) são deformações permanentes longitudinais do pavimento, que aparecem sempre na trilha onde os rodeiros dos veículos passam. Essa patologia pode ser causada por falha na seleção do tipo de revestimento asfáltico para as cargas solicitantes, excesso de ligante asfáltico, falha na dosagem da mistura asfáltica, deformação das camadas subjacentes e também por erro construtivo (DNIT, 2006).

Figura 14 - Trilha de roda BR-354



Fonte: Próprio autor, 2024.

4.8.3 Exsudação

De acordo com Bernucci *et al.* (2008), a exsudação ocorre devido a temperatura elevada e a presença de ligantes em excesso, que causam a dilatação do asfalto e a dificuldade em ocupar espaço devido ao baixo volume de vazios, migrando para a superfície do pavimento dando um aspecto brilhoso, como pode ser visto na figura 15.

Figura 15 - Exsudação



Fonte: DNIT, 2003.

4.8.4 Panela

São cavidades com profundidades e larguras variadas, formadas devido ao amolecimento das camadas do pavimento. As panelas aparecem em maior quantidade no período chuvoso, pois a água presente na superfície passa a ter acesso às camadas inferiores, sendo prejudiciais tanto nas características funcionais quanto estruturais (Figura 16) (DNIT, 2006).

Figura 16 – Panela no pavimento BR-354



Fonte: Próprio autor, 2024.

4.8.5 *Trincas*

As trincas (Figura 17) ocorrem devido a defeitos na superfície do pavimento que permitem a entrada de água e enfraquecem a estrutura do asfalto, possibilitando o surgimento de outras patologias (DNIT, 2006).

Figura 17 - Trincas no pavimento BR-354



Fonte: Próprio autor, 2024.

Um estudo realizado por Silva *et al.* (2016), analisou através dos ensaios físicos dos materiais, os parâmetros que possam diminuir o surgimento de manifestações patológicas, observando que pavimentos modificados apresentam menos alterações que asfaltos executados de forma tradicional com CBUQ.

Dessa forma, uma das soluções encontradas para corrigir os problemas relacionados às patologias e melhorar a resistência e a adesividade do revestimento asfáltico, é adicionar borracha moída de pneu (SILVA *et al.*, 2016).

Tendo em vista as patologias apresentadas, a inserção da borracha no asfalto aumenta a consistência, a flexibilidade e a resistência ao envelhecimento, evitando o aparecimento de patologias. Além disso, traz uma economia significativa no tempo e no custo de manutenção do pavimento.

Diante disso, é importante analisar a viabilidade econômica a fim de fazer um comparativo de custo entre o asfalto convencional e o asfalto-borracha.

4.9 Custo

Um dos principais aspectos analisados na utilização do asfalto-borracha como meio alternativo para melhorar algumas características do asfalto convencional, é o levantamento de custos, fazendo um estudo comparativo de gastos para verificar se a utilização da borracha é financeiramente vantajosa (MENDES, 2019).

Ainda segundo o mesmo autor, para realizar esse estudo financeiro, devem ser analisados todos os custos envolvidos nos processos de fabricação, produto final e manutenção.

4.10 Especificações da pavimentação asfáltica

Um fator que deve ser considerado ao analisar os custos envolvidos na implantação do pavimento é a espessura da camada asfáltica.

As normas do DNIT que estabelecem diretrizes sobre as especificações das espessuras mínimas para pavimentação asfáltica, incluindo concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ) e asfalto-borracha, a fim de garantir a durabilidade e a performance da pavimentação, são:

- DNIT 031/2006 - ES - Pavimentação Asfáltica - Especificação de Serviço para CBUQ: a espessura mínima da camada de revestimento para o CBUQ depende

do volume de tráfego e das condições específicas do projeto, podendo variar de 3,0 a 5,0 cm. Esta camada é responsável por suportar diretamente o tráfego e fornecer uma superfície de rolamento adequada;

- DNIT 147/2010 - ES - Concreto Betuminoso Usinado a Quente com Adição de Borracha Moída de Pneus Inservíveis para asfalto-borracha: a espessura mínima da camada de revestimento pode variar de acordo com o projeto específico, mas geralmente segue diretrizes semelhantes às do CBUQ convencional, podendo variar de 3,0 a 5,0 cm.

A espessura da camada deve ser determinada com base em estudos de dimensionamento e condições locais, como volume e tipo de tráfego, condições climáticas e características do solo, realizando um projeto detalhado e ensaios técnicos para determinar a espessura ideal (DNIT, 2010).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste tópico serão abordados os resultados dos dois estudos, realizados em diferentes regiões. O primeiro estudo analisado, apresentou a análise do custo de uma obra de restauração de 30 km de extensão com 7 m de largura, localizada em Curitiba – PR, onde foi feito um orçamento para aplicação de uma camada de concreto asfáltico com ligante CAP-50/70 de 5 cm de espessura e uma camada de asfalto-borracha com 3,5 cm. O segundo estudo, foi realizado com base em um projeto de pavimentação asfáltica no Residencial Jardim do Cerrado III, que possui duas avenidas e vinte ruas, sendo um total de 9,06 km de extensão pavimentados, ou seja, 66.840 km², situado na cidade de Goiânia - GO.

5.1 Estudo 1: Estado do Paraná

A Greca (2009) apresentou um estudo analisando o custo de uma obra de restauração de 30 km de extensão com 7 m de largura, sendo que para cada metro cúbico, são necessárias 2,5 toneladas de massa asfáltica. Para esse estudo, planejou-se a aplicação de uma camada de concreto asfáltico com ligante CAP-50/70 de 5 cm de espessura. Foi apresentado também, o orçamento para revestir com 3,5 cm de reforço com asfalto-borracha, reduzindo em 30% a espessura da camada.

De acordo com a Greca (2009), essa redução depende de uma análise elaborada da deformabilidade da estrutura, do tráfego da rodovia, do clima da região e do tipo de mistura asfáltica utilizada, podendo variar de 20 a 30% da espessura do revestimento prevista com ligante convencional. O projeto de pavimentação adequado com redução de espessura dever ser realizado por consultor especializado.

Quadro 3 - Quantidade de massa asfáltica para camada de espessura diferente

Revestimento em CBUQ convencional com camada de 5cm	Revestimento em CBUQ com asfalto-borracha com camada de 3,5 cm
30.000m x 7,00m x 0,05m x 2,5 t/m ³ = 26.250 toneladas de massa asfáltica de CBUQ normal	30.000m x 7,00m x 0,035m x 2,5 t/m ³ = 18.375 toneladas de massa asfáltica de CBUQ com asfalto-borracha

Fonte: GRECA, 2009.

Foram adotadas as seguintes premissas:

Tabela 1 - Custos CAP 50/70 comparado ao Asfalto-borracha

	CAP 50/70	Asfalto-borracha
Custo de usinagem (R\$/ton)	200,00	230,00
Custo do material (R\$/ton)	1.150,00	1.550,00
Frete (R\$)	não incluso	não incluso
Teor de ligante %	5,0	5,5

Fonte: Adaptado de: GRECA, 2009.

Pelo fato de o asfalto-borracha apresentar maior viscosidade, foi considerado o aumento de teor do ligante em 0,5%.

Verifica-se um custo de usinagem do asfalto-borracha em torno de 15% mais caro que o CBUQ convencional. Isso se deve aos altos teores de borracha que levam a maiores viscosidades, podendo comprometer a trabalhabilidade da mistura asfáltica, além da necessidade de elevar as temperaturas de usinagem da mistura asfáltica para aumentar a eficiência na compactação do revestimento.

A Tabela 2 apresenta um comparativo do revestimento asfáltico convencional e o revestimento asfáltico modificado com borracha gerando um custo total de obra de ambos os revestimentos.

Tabela 2 - Comparativo entre custos do revestimento convencional x revestimento asfalto-borracha

GRANDEZAS	CÁLCULO	UNIDADE	TIPO DE ASFALTO	
			CAP 50/70	ASFALTO BORRACHA (AB8)
A	Quantidade de massa asfáltica CBUQ produzida	Ton	26.250	18.375
B	Custo de Usinagem/ tonelada de CBUQ aplicado	R\$ / ton	200	230
C	Quantidade de massa x Custo de Usinagem	R\$	6.037.500,00	4.274.943,75
D	Teor de Asfalto	% peso	5%	5,50%
E	Custo de asfalto/tonelada	R\$ / ton	1.150,00	1.550,00
F	Custo de asfalto no CBUQ	R\$	1.509.375,00	1.566.468,75
G	Custo total da obra	R\$	6.759.375,00	5.792.718,75

Fonte: Adaptado de: ZATARIN *et al.*, 2017.

Como pode ser observado na tabela 2, a quantidade de massa asfáltica de CBUQ produzida é menor para o asfalto-borracha, quando comparado com o CAP 50/70, sendo a diferença de 7.875 toneladas (42,86%), que pode ser justificada pela redução da espessura da camada.

Em relação ao custo total de implantação, tem-se:

$$\frac{(6.759.375,00 - 5.792.718,75) \times 100}{6.759.375,00} = 14,30 \%$$

Dessa forma, apesar do custo de implantação do asfalto-borracha ser maior quando comparado ao CBUQ, ao usá-lo em uma camada de espessura menor, têm-se uma redução no custo da obra de 14,30%, visto que, a quantidade de massa asfáltica produzida também será menor. Essa redução de espessura permite a utilização de menos recursos naturais, economia de combustível durante a usinagem e a diminuição do tempo necessário para fazer a obra prevista.

5.2 Estudo 2: Estado de Goiás

Para realizar um comparativo com o estudo anterior, foi feita uma análise em uma pesquisa realizada por Mendes (2019), que também apresentou um estudo do projeto substituição do CBUQ convencional pelo CBUQ modificado por borracha triturada de pneus inservíveis, na pavimentação do residencial Jardim do Cerrado III, situado na cidade de Goiânia-GO. Essa área possui comprimento total de 7300,12 m (para as ruas) com 6,85 m de largura, 1364,12 m (comprimento da avenida) com 8,85 m de largura e 402,12 m (comprimento da outra avenida) com 11,85 m de largura, totalizando 9,06 km de extensão pavimentados.

Foi realizada uma visita à Agência Municipal de Obras (AMO) da Prefeitura Municipal de Goiânia, com o intuito de obter informações sobre o projeto da pavimentação asfáltica do residencial. No item de Critérios Técnicos desse projeto foi especificado que a espessura da capa asfáltica em CBUQ deveria ter entre 3,0 e 5,0 cm.

Neste estudo, foi considerada a espessura de capa de 3,0 cm e peso específico de $2,5\text{t/m}^3$, conforme o projeto, tanto para o CBUQ convencional quanto para o asfalto-borracha, uma vez que a redução da camada não foi objeto de estudo para o residencial.

Para realizar o cálculo da massa asfáltica necessária, realizou-se o somatório do comprimento de cada rua pela sua largura de capa multiplicado pela espessura da capa e peso específico do material, obtendo-se o valor de 5013,26 toneladas de CBUQ utilizada para a pavimentação de toda a etapa Jardim do Cerrado III, como pode-se observar no quadro 4.

Quadro 4 - Quantidade de massa asfáltica para camada com mesma espessura

Revestimento em CBUQ convencional com camada de 3cm	Revestimento em CBUQ com asfalto-borracha com camada de 3cm
$(7300,12\text{m} \times 6,85\text{m} + 1364,12\text{m} \times 8,85 + 402,12\text{m} \times 11,85\text{m}) \times 0,03\text{m} \times 2,5\text{t/m}^3$ = 5013,26 toneladas de massa asfáltica de CBUQ normal	$(7300,12\text{m} \times 6,85\text{m} + 1364,12\text{m} \times 8,85 + 402,12\text{m} \times 11,85\text{m}) \times 0,03\text{m} \times 2,5\text{t/m}^3$ = 5013,26 toneladas de massa asfáltica de CBUQ com asfalto-borracha

Fonte: Adaptado de: MENDES, 2019.

De acordo com a Agência Nacional de Petróleo (ANP), em abril de 2018, o valor do preço médio mensal praticado pelos distribuidores de cimento asfáltico no Centro-Oeste foi de R\$ 1.857,50 a tonelada para o CAP 50-70, enquanto, o CAP modificado por borracha de pneus AB22 ficou em R\$ 2.100,20 a tonelada (MENDES, 2019).

Foram adotados os seguintes dados:

Tabela 3 - Custos CAP 50/70 comparado ao AB22

	CAP 50/70	Asfalto-borracha (AB22)
Custo de usinagem (R\$/ton)	371,50	420,04
Custo do material (R\$/ton)	1.857,50	2.100,20
Frete (R\$)	não incluso	não incluso
Teor de ligante %	5,0	5,5

Fonte: Adaptado de: MENDES, 2019.

Tabela 4 – Comparativo entre custos do asfalto convencional x asfalto-borracha

GRANDEZAS	CÁLCULO	UNIDADE	TIPO DE ASFALTO	
			CAP 50/70	ASFALTO BARRACHA AB22
A	Quantidade de massa asfáltica CBUQ produzida	Ton	5013,26	5013,26
B	Custo de Usinagem/ tonelada de CBUQ aplicado	R\$ / ton	371,50	420,04
C	Quantidade de massa x Custo de Usinagem	R\$	1.862.426,09	2.105.769,73
D	Teor de Asfalto	% peso	5%	5,5%
E	Custo de asfalto/tonelada	R\$ / ton	1.857,50	2.100,20
F	Custo de asfalto no CBUQ	R\$	465.606,52	579.086,67
G	Custo total	R\$	2.328.032,61	2.684.856,40

Fonte: Adaptado de: MENDES, 2019.

Em relação ao custo total de implantação, tem-se:

$$\frac{(2.684.856,40 - 2.328.032,61) \times 100}{2.328.032,61} = 15,32 \%$$

Dessa forma, a utilização de revestimento com asfalto-borracha apresenta um aumento no custo da obra de 15,32%, que pode ser justificado pelo alto custo para elevar as temperaturas de usinagem da mistura asfáltica e aumento da eficiência na compactação do revestimento.

Enquanto no segundo estudo as camadas de asfalto tinham a mesma espessura e o asfalto-borracha aplicado foi o AB22, no primeiro estudo houve uma redução de 1,5 cm na espessura da camada, gerando uma menor quantidade de massa asfáltica produzida (foi utilizado o AB8), o que justifica o preço do asfalto-borracha mais baixo no estudo 1, quando comparado ao asfalto convencional.

5.3 Custo de manutenção

Nesta segunda etapa, dado que não haviam registros de manutenção disponíveis para os dois casos anteriormente analisados, buscou-se informações sobre os custos de manutenção em estudos científicos para ajudar na avaliação da viabilidade financeira. Além de verificar o custo de execução, é importante considerar o custo de manutenção de cada tipo de pavimento durante sua vida útil (MENDES, 2019).

O estudo utilizado foi realizado por Mendes (2019) na Rua Ângelo Domingos Durigan, na cidade de Curitiba, em que foram selecionados 2 trechos de 100 metros para cada tipo de pavimento a ser analisado (CAP 50/70 e asfalto-borracha), a fim de ter o tráfego mais semelhante possível um do outro, totalizando um estudo de 400 metros da via.

Ambas as vias foram executadas no ano de 2005 pela prefeitura Municipal de Curitiba, que, em 2012 (07 anos depois), disponibilizou tabelas para análise dos custos de execução e de recuperação da rua, fazendo uma comparação dos valores investidos e também os custos de manutenção.

Analisando os dois trechos foi possível verificar que aproximadamente 70% do trecho com CAP-50/70 sofreu algum tipo de manutenção, enquanto, o asfalto-borracha precisou somente de 10% de reparo. Como os dois modelos estiveram sob

ação das mesmas intempéries, associou-se o desgaste somente ao tipo de material utilizado.

Com base nesse estudo analisado, podemos obter os seguintes custos de manutenção para a pavimentação do residencial em estudo, utilizando os valores encontrados no custo total de obra do estudo 2 (mesma espessura da camada):

- asfalto-borracha: R\$ 2.684.856,40 x 0,10= R\$ 268.485,64;
- asfalto convencional: R\$ 2.328.032,61 x 0,70= R\$ 1.629.622,83.

Dessa forma, foi possível calcular o somatório dos custos de execução e manutenção de cada tipo de pavimento, conforme a tabela abaixo (Tabela 5).

Tabela 5 - Custo de manutenção + execução revestimento convencional x revestimento asfalto-borracha.

Tipo de pavimento	Custo de execução (R\$)	Custo de manutenção (R\$)	Custo de execução + custo de manutenção (R\$)
Asfalto convencional	2.328.032,61	1.629.622,83	3.957.655,44
Asfalto-borracha	2.684.856,40	268.485,64	2.953.342,04

Fonte: Adaptado de: MENDES, 2019.

Analisando somente o custo total de manutenção, tem-se:

$$\frac{(1.629.622,83 - 268.485,64) \times 100}{268.485,64} = 506,97\%$$

Em relação ao custo total de execução e manutenção da obra, tem-se:

$$\frac{(3.957.655,44 - 2.953.342,04) \times 100}{2.953.342,04} = 34,00\%$$

Dessa forma, apesar do custo de execução do asfalto convencional ser menor (15,32%), sua utilização apresenta um aumento no custo de manutenção de aproximadamente 507,00%, gerando despesa de 34,00% maior ao realizar o somatório do custo de execução e manutenção da obra, quando comparado com o asfalto-borracha.

O custo de manutenção do asfalto-borracha, sendo em torno de 6 vezes mais barato que o asfalto convencional, implica significativas economias para os cofres públicos e concessionárias. Essa grande diferença permite que recursos que seriam destinados às manutenções constantes sejam redirecionados para outras

áreas, como saúde e educação, melhorias de infraestrutura, manutenção preventiva e inovação tecnológica, aumentando a qualidade dos serviços oferecidos e a satisfação dos usuários.

Estes dados confirmam o que foi encontrado na literatura, uma vez que, a utilização dos pneus inservíveis no asfalto pode oferecer diversas vantagens significativas, como maior durabilidade, resistência a rachaduras e deformações, capacidade de se adaptar a mudanças de temperatura e movimentos do solo, redução do ruído do tráfego exigindo menos reparos ao longo de sua vida útil, além de contribuir com o meio ambiente.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho atingiu os objetivos esperados, uma vez que possibilitou compreender o processo de produção do asfalto-borracha e verificar que a técnica de reaproveitamento da borracha no pavimento asfáltico é muito próspera quando comparada com o asfalto convencional, visto que aumenta a vida útil e a qualidade do pavimento, proporcionando maior resistência, durabilidade e elasticidade, reduzindo as manifestações patológicas e despesas com manutenção, além de trazer mais conforto e segurança aos usuários.

Dessa forma, diante dos estudos apresentados, o pavimento com asfalto-borracha tem seu custo diminuído ao longo da sua vida útil, devido à baixa necessidade de manutenção, chegando a um custo final de até 34,00% menor que o pavimento com asfalto convencional, analisando um período de 07 anos.

Conseqüentemente, apesar do asfalto convencional apresentar um investimento inicial menor que o asfalto-borracha, a longo prazo ele irá necessitar de mais manutenções, o que irá tornar seu custo benefício inviável.

Além disso, essa comparação serviu como uma forma de conscientização ambiental, pois o uso de pneus inservíveis na produção de asfalto-borracha promove uma solução sustentável para o problema do descarte inadequado desses resíduos. Pneus descartados de forma inadequada podem ocupar grandes volumes em aterros sanitários e demorar centenas de anos para se decompor.

Dessa forma, ao destacar os benefícios do asfalto-borracha, este comparativo também mostra à sociedade a importância do descarte correto dos pneus inservíveis, incentivando práticas de reciclagem e reutilização.

Portanto, é de suma importância o incentivo governamental nas melhorias do modal rodoviário por meio do desenvolvimento e implementação do asfalto-borracha, investindo em estudos e pesquisas, buscando cada vez mais um diferencial econômico, político e social. A combinação da inovação tecnológica com conscientização ambiental pode transformar a infraestrutura viária, resultando em um futuro mais sustentável e próspero para todos.

Espera-se que através deste estudo, um próximo trabalho possa dar continuidade, fazendo um comparativo entre os dois tipos de pavimento flexível (CBUQ e asfalto-borracha) em uma mesma região ou Estado, além de comparar os custos de implantação e de manutenção com dados atualizados, uma vez que, não foram encontrados dados recentes para o desenvolvimento desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

ALESP, Assembleia Legislativa do Estado de São Paulo. **SP tem mais de 1,3 mil quilômetros de rodovias pavimentadas com material de borracha reciclada.**

Disponível em: <https://www.al.sp.gov.br/>. Acesso em: 16 mar. 2023.

ALMEIDA, Daniel Pedroso. **Solução do projeto de pavimento rígido estudo de caso:** corredor de ônibus do binário das Ruas Dr. João Colin e Blumenau – Joinville/SC. UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA – UFSC. Joinville, SC. 2015.

AUBICON. **450 mil toneladas de pneus são descartadas no Brasil por ano, entenda o papel da Aubicon para minimizar esse processo.** Disponível em: <https://www.aubicon.com.br/450-toneladas-de-pneus-sao-descartados-no-brasil-por-ano-entenda-o-papel-da-aubicon-para-minimizar-esse-processo/>. Acesso em: 07 mar. 2023.

BALBO, J. T. **Pavimentos asfálticos – patologias e manutenção.** São Paulo, Editora Plêiade. 2017.

BERNUCCI, L. L. B.; MOTTA, L. M. G.; CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. B. **Pavimentação asfáltica:** formação básica para engenheiros. Rio de Janeiro: PETROBRAS: ABEDA, RJ. 2008.

BERTOLLO, S. A. M. **Avaliação laboratorial de misturas asfálticas densas modificadas com borracha reciclada de pneus.** Tese de doutorado - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, SP. 2003.

BRASIL. **Ministério do Meio Ambiente.** Resolução Conama nº 307, de 5 de julho de 2017. Diretrizes, Critérios e processos para o gerenciamento de resíduos da construção civil. Diário Oficial da União, Brasília, 17 jul. 2017.

BRITA PINHAL. **CBUQ x PMF:** Você sabe a diferença? Disponível em: <http://britapinhal.com.br/novidades/detalhes/6/cbuq-x-pmf-voce-sabe-a-diferenca>. Acesso em: 10 set. 2023.

DANTAS, Cristiano. **Via Anchieta completa 75 anos.** Disponível em: <https://saobernardodocampo.info/782/fotos-antigas-rodovia-anchieta/>. Acesso em: 26 fev. 2024.

DANTAS NETO, S. A. **Avaliação das Propriedades dos Ligantes e das Misturas Asfálticas Modificados com Borracha Granulada de Pneus Usados.** Tese de Doutorado, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF. 2004.

DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura De Transportes. **Concreto Betuminoso Usinado a Quente com Adição de Borracha Moída de Pneus Inservíveis para asfalto-borracha.** Diretoria de Planejamento e Pesquisa. DNIT-ES 147/2010.

DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura De Transportes. **Defeitos nos pavimentos flexíveis e semirrígidos Terminologia**. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. DNIT-TER 005/2003.

DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Manual de Pavimentação**. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. 3. Ed. Rio de Janeiro, RJ, 2006.

DNIT. Departamento Nacional De Infraestrutura de Transportes. **Pavimentos Flexíveis – Concreto Asfáltico**. Diretoria De Planejamento e Pesquisa. DNIT-ES 031/2006.

FAXINA, A. L. **Estudo em laboratório do desempenho de concreto asfáltico usinado a quente empregando ligante do tipo asfalto-borracha**. Dissertação de Mestrado em Transportes. Escola de Engenharia de São Carlos-EESC. Universidade de São Paulo. São Carlos, SP. 2017.

FERREIRA, A. V.; COELHO, J. M.; OLIVEIRA, J. K. S. P.; PEDROSO, L. B.; SANTOS, M. F. **Estudo de Caso das Principais Patologias em Pavimentos Flexíveis na Avenida João Netto de Campos em Catalão – GO**. Universidade UNA de Catalão. Catalão- GO. 2021.

FILHO, José Moacir de Mendonça; ROCHA, Eider Gomes de Azevedo. **Estudo Comparativo entre Pavimentos Flexível e Rígido na Pavimentação Rodoviária**. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. 2018.

GLOBONEWS, G1. **Asfalto-borracha dura três vezes mais que o convencional, diz especialista**. Disponível em: <https://g1.globo.com/globonews/cidades-e-solucoes/noticia/2023/07/04/asfalto-borracha-dura-tres-vezes-mais-que-o-convencional-diz-especialista.ghtml>. Acesso em: 03 set. 2023.

LEITE, L. F. M. **Curso Básico Intensivo de Pavimentação Urbana**. Módulo Básico: Ligantes Asfálticos. Rio de Janeiro, RJ. 2018.

LOBO, Renato. **40 anos da Rodovia Imigrantes: a principal rota entre baixada e SP**. Disponível em: <https://viatrolebus.com.br/2015/12/40-anos-da-rodovia-imigrantes-a-principal-rota-entre-baixada-e-sp/> Acesso em: 26 fev. 2024.

MENDES, G. C. R. M. Viabilidade do asfalto borracha na pavimentação urbana: estudo de caso no Residencial Jardim do Cerrado III, Goiânia, Goiás. Programa De Pós-Graduação Mestrado em Desenvolvimento e Planejamento Territorial (MDPT). Goiás. 2019.

MERIGHI, Cecília Fortes. **Estudo do comportamento de misturas asfálticas mornas em revestimentos de pavimento com adição de borracha moído de pneu**. São Paulo. 2015.

MOREIRA, Heverton. **Pintura em Pavimentos de Concreto e Blocos de Concreto**. III – Seminário de Segurança e Sinalização Viária. Associação dos Engenheiros do DER/MG. 2013.

MOTTA, R. S. **Estudo de misturas asfálticas mornas em revestimentos de pavimentos para redução de emissão de poluentes e de consumo energético**. 2011. 229 p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2011.

MOZART, W.; RIHS, A. R. **Asfalto-Ecológico: Desafios e Soluções**. Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro - UNIPAC ISSN 2178-6925. 2018.

NETO, D. M. O. **Uso Da Borracha De Pneus Para Pavimentação Asfáltica No Brasil: Um Panorama Histórico**. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso. Cuiabá, MT. 2016.

ODA, Sandra; NASCIMENTO, Luís Alberto Hermann do; EDEL, Guilherme. **Aplicação de asfalto-borracha na Bahia**. 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás. Salvador, BA. 2001.

OLIVEIRA, Thais Ferreira de. **Os Desafios e Perspectiva Da Utilização do Asfalto-borracha em Revestimentos Asfálticos no Brasil**. Centro Universitário Luterano de Palmas. Palmas, TO. 2019.

PEREIRA, Mirian Carvalho. **Revestimentos asfálticos: tipos e propriedades**. Centro Universitário de Formiga – UNIFOR. Curso de engenharia civil. FORMIGA – MG. 2014.

PEREIRA, Thiago Pastre. **Estudo do concreto de alto desempenho com adição de borracha**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Área de Conhecimento: Estruturas. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira-SP. 2016.

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**. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos, SP. 2008.

PREFEITURA DE ITAQUAQUECETUBA. **Obras do novo acesso ao Rodoanel Mário Covas, em Itaquaquecetuba, são iniciadas**. Disponível em: <https://www.itaquaquetuba.sp.gov.br/obras-do-novo-acesso-ao-rodoanel-mario-covas-em-itaquaquetuba-sao-iniciadas/>. Acesso em: 26 fev. 2024.

PROWELL, B.D. **Warm mix asphalt: the International Technology Scanning Program – summary repor**. Washington, DC.: Federal Highway Administration; American Association of State Highway and Transportation Officials, 2007.

RAMOS, O. N.; SILVA, E. S; OLIVEIRA, A. L.; OLIVEIRA, H. M.; HENNIG, T. M.; FILHO, R. A. O.; COSTA, E. K. **Análise patológica em pavimento semirrígido na**

rua Santinho Amorin no bairro Panorama em Montes Claros – mg. 11º FEPEG – fórum ensino, pesquisa, extensão e gestão. Montes Claros – MG. 2017.

ROSENO, J. L. **Avaliação de uma Mistura Asfáltica Porosa com Agregados Calcários e Asfalto-borracha.** Dissertação de Mestrado em Geotecnia. Universidade de Brasília, Brasília, DF. 2005.

SANCHES, Felipe G.; GRANDINI, Fernando H. B.; JUNIOR, Orlei B. **Avaliação da Viabilidade Financeira de Projetos com Utilização do Asfalto-Borracha em Relação ao Asfalto Convencional.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Curso Superior de Engenharia de Produção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Curitiba. 2012.

SENÇO, Wlastermiller de. **Manual de Técnicas de Pavimentação:** volume 1. São Paulo, SP. 2007.

SILVA, Anngelita Sousa da; MARQUES, Vanessa Procksch. **Estudo comparativo entre o CBUQ convencional e o CBUQ com adição do pó de borracha.** Unievangélica. curso de engenharia civil. Anápolis, GO. 2018.

SILVA, F. M., ANHOLETTI, M., JUNIOR, J. C. A. **Estudo dos Afundamentos nos Pavimentos Asfálticos.** Artigo Acadêmico da Faculdade de Engenharia Civil de Capixaba da Serra. 2016.

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, novembro. 2021.

SILVEIRA, Paulo Moreira. **Estudo do comportamento mecânico do concreto com borracha de pneu.** Departamento de Engenharia Civil – FEIS/UNESP. Ilha Solteira-SP. 2016.

SINICESP. **Produção de Misturas Asfálticas Mornas com Agente Surfactante no Brasil.** 2016. Sinicesp.org.br. Disponível em: <<http://www.sinicesp.org.br/materias/2016/bt08a.htm>>. Acesso em: 10 set. 2023.

THOMAS, B. S.; GUPTA, R. C. **Properties of high strength concrete containing scrap tire rubber.** *Journal Of Cleaner Production*, Amsterdam. 2015.

ZATARIN, Ana Paula Machado; SILVA, André Luiz Ferreira da; ANEMAM, Lehi dos Santos; BARROS, Marcos Roberto de; CHRISOSTOMO, Walbert. **Viabilidade Da Pavimentação Com Asfalto-Borracha.** R. gest. sust. ambient., Florianópolis, v. 5, n. 2,out. 2016/mar. 2017.