



**unifaema**

**CENTRO UNIVERSITÁRIO FAEMA – UNIFAEMA**

**RICHER RUAN RONDOVER**

**USO DO ASFALTO BORRACHA NA PAVIMENTAÇÃO DE RODOVIAS**

**ARIQUEMES-RO**

**2022**

**RICHER RUAN RONDOVER**

**USO DO ASFALTO BORRACHA NA PAVIMENTAÇÃO DE RODOVIAS**

Trabalho de conclusão de curso para a obtenção do Grau em Engenharia Civil apresentado à Faculdade de Educação e Meio Ambiente – Faema.

Pref.<sup>o</sup> Orientador: Bruno Dias De Oliveira

**ARIQUEMES-RO**

**2022**

**RICHER RUAN RONDOVER**

**USO DO ASFALTO BORRACHA NA PAVIMENTAÇÃO DE RODOVIAS**

Trabalho de conclusão de curso para a obtenção do Grau em Engenharia Civil apresentado à Faculdade de Educação e Meio Ambiente – Faema.

Pref.<sup>o</sup> Orientador: Bruno Dias De Oliveira

**BANCA EXAMINADORA**

Aprovado em \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

---

Orientador: Prof. Esp. Bruno Dias Oliveira  
Centro Universitário FAEMA – UNIFAEMA

---

Prof. Esp. Lincoln Souza Lopes  
Centro Universitário FAEMA – UNIFAEMA

---

Prof. Esp. Felipe Pantano De Souza  
Centro Universitário FAEMA – UNIFAEMA

**ARIQUEMES-RO**

**2022**

**FICHA CATALOGRÁFICA**  
**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

R771u Rondover, Richer Ruan.

    Uso do asfalto borracha na pavimentação de rodovias. / Richer Ruan Rondover. Ariquemes, RO: Centro Universitário FAEMA – UNIFAEMA, 2022.

    44 f. ; il.

    Orientador: Prof. Esp. Bruno Dias de Oliveira.

    Trabalho de Conclusão de Curso – Graduação em Engenharia Civil – Centro Universitário FAEMA – UNIFAEMA, Ariquemes/RO, 2022.

1. Pavimentação Urbana. 2. Asfalto Borracha. 3. Pneus. 4. Reciclagem. 5. Rodovias. I. Título. II. Oliveira, Bruno Dias de.

CDD 620.1

**Bibliotecária Responsável**  
Herta Maria de Açucena do N. Soeiro  
CRB 1114/11

## RESUMO

O presente trabalho tem como base à pesquisa bibliográfica e visa evidenciar a importância da pavimentação segura e de qualidade, pois é tão importante para as pessoas, temos que nos movimentar todos os dias para cumprir nossas obrigações. É neste momento que abre o caminho para as nossas vidas. A qualidade do pavimento afeta diretamente o cotidiano das cidades, e esses deslocamentos precisam ser o mais rápidos e confortáveis possíveis. Infelizmente, nem todos têm acesso a serviços de pavimentação de qualidade, ou mesmo nenhum. Desta forma, finalmente conscientizamos as pessoas sobre a importância de um bom projeto de pavimentação que precisa ser o mais adequado possível para cada local onde será executado, pois garantimos não só a execução do projeto, e também a qualidade e durabilidade da estrada. Este trabalho expõe que milhões de pneus inservíveis são descartados no planeta, levantando preocupações ambientais por se tratar de um polímero que se decompõe muito lentamente, e esses pneus são reaproveitados na pavimentação para buscar melhorias estruturais. Embora a tecnologia tenha maiores custos de implantação e barreiras à sua expansão em relação ao asfalto convencional, o asfalto modificado por borracha oferece maior resistência, menor custo de manutenção e contribui para a sustentabilidade do planeta. A utilização dessa abordagem é considerada promissora, com medidas governamentais, tecnologia para aumentar os investimentos e políticas públicas para ampliar seu uso onde os benefícios são inúmeros.

Palavras – chave: Pavimentação, asfalto borracha, pneus, reciclagem.

## **ABSTRACT**

The present work is based on bibliographic research and aims to highlight the importance of safe and quality paving, as it is so important for people, we have to move every day to fulfill our obligations. It is at this moment that opens the way for our lives. The quality of the pavement directly affects the daily life of cities, and these displacements need to be as fast and comfortable as possible. Unfortunately, not everyone has access to quality paving services, or none at all. In this way, we finally make people aware of the importance of a good paving project that needs to be as suitable as possible for each location where it will be executed, as we guarantee not only the execution of the project, but also the quality and durability of the road. This work exposes that millions of waste tires are discarded on the planet, raising environmental concerns because it is a polymer that decomposes very slowly, and these tires are reused in paving to seek structural improvements. Although the technology has higher implementation costs and barriers to its expansion compared to conventional asphalt, rubber-modified asphalt offers greater strength, lower maintenance costs and contributes to the sustainability of the planet. The use of this approach is considered promising, with government measures, technology to increase investments and public policies to expand its use where the benefits are numerous.

Keywords: Paving, asphalt rubber, tires, recycling.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Composição do pavimento asfáltico. ....	13
<b>Figura 2</b> - Esquema de produção de asfalto em um estágio.....	14
<b>Figura 3</b> - Esquema de produção de asfalto em dois estágios. ....	15
<b>Figura 4</b> - Asfalto borracha em Las vegas. ....	19
<b>Figura 5</b> - Asfalto borracha na BR 116/RS.....	19
<b>Figura 6</b> - Total de pneus inservíveis utilizados. ....	20
<b>Figura 7</b> - Esquema do reaproveitamento de pneus descartados.....	24
<b>Figura 8</b> - Partes constituintes da estrutura típica dos pneus. ....	24
<b>Figura 9</b> - Máquina de transformação em pó de pneu. ....	27
<b>Figura 10</b> - Esquema de fabricação do asfalto borracha estocável. ....	28
<b>Figura 11</b> - Rolo compactador Tandem.....	29
<b>Figura 12</b> - Caminhão basculante e vibroacabadora de asfalto sobre esteiras. .....	29
<b>Figura 13</b> - Caminhão espargidor. ....	30
<b>Figura 14</b> - Máquina motoniveladora. ....	31
<b>Figura 15</b> - Trator de esteira. ....	31
<b>Figura 16</b> - Custo de execução do asfalto convencional e do asfalto-borracha. .....	34
<b>Figura 17</b> - Custo de manutenção.....	35
<b>Figura 18</b> - Viabilidade financeira do asfalto borracha. ....	35
<b>Figura 19</b> - Placas de pavimentos asfálticos.....	37

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>10</b>
2.1	OBJETIVO GERAL	10
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	10
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>11</b>
3.1	NATUREZA DA PESQUISA	11
3.2	COLETA DE DADOS	11
3.3	ANÁLISE DOS DADOS	11
<b>4</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b>	<b>12</b>
4.1	PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA	12
4.2	REVESTIMENTO ASFÁLTICO	13
4.3	CIMENTO ASFÁLTICO DE PETRÓLEO (CAP)	15
4.4	EMULSÕES ASFÁLTICAS	16
4.5	ASFALTOS MODIFICADOS	17
4.6	ASFALTOS DILUÍDOS	17
4.7	HISTÓRICO DO ASFALTO BORRACHA	18
4.8	SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL	21
4.9	PNEU E SEUS IMPACTOS AMBIENTAIS	22
4.9.1	A INCORPORAÇÃO DA BORRACHA DE PNEU NA MASSA ASFÁLTICA	25
4.9.2	EQUIPAMENTOS NECESSÁRIOS PARA APLICAÇÃO DO ASFALTO BORRACHA	28
4.9.3	VANTAGENS E DESVANTAGENS DO USO DA BORRACHA NO PAVIMENTO	32
4.9.4	CUSTO DE EXECUÇÃO E MANUTENÇÃO	33
4.9.5	PARÂMETRO DE DESEMPENHO	36
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	<b>37</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	<b>38</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A massiva fabricação de pneus e as dificuldades para fazê-los desaparecer uma vez usados, constituem um dos mais graves problemas do meio ambiente dos últimos anos em todo mundo. Um pneu precisa de grandes quantidades de energia para ser fabricado, cerca de meio barril de petróleo cru para fabricar um pneu de caminhão (CAWELL, 2005)

Existem formas para conseguir elementos reciclados destes produtos, no entanto, faltam políticas que incentivam o recolhimento e a inserção de indústrias destinadas à tarefa de subtrair ou recuperar, de modo limpa, os elementos perigosos das borrachas dos veículos e materiais.

Com a crescente demanda nas principais rodovias do Brasil, no intuito de buscar melhorias de um asfalto melhor, buscando meios de reduzir os problemas ambientais, e de tal forma, aumentar a vida útil do pavimento. Que devem ser resolvidos, com a qualidade de construção e a utilização de pneus inservíveis.

Está prática asfalto borracha ainda é pouco aplicado no Brasil, embora ela seja uma maneira inovadora para melhorar as rodovias, e com materiais recicláveis, gerando um menor custo de manutenção, sem causar danos ao meio ambiente.

O propósito da borracha de pneus no pavimento asfáltico é melhorar seu funcionamento, aumentando sua textura a altas temperaturas e diminuindo a deformação imutável nas trilhas de rodas.

A borracha reciclada a partir de resíduos de pneus tem sido utilizada no asfalto pela indústria de pavimentação desde a década de 1970 nos Estados Unidos. No Brasil, até recentemente, o uso rotineiro da borracha reciclada de pneu em pavimentos foi limitado a alguns estados. Embora o desempenho geralmente bom, o custo era muito elevado quando comparada às práticas convencionais (CURY et al., 2015).

Em virtude dos benefícios econômicos e ambientais são justificção suficiente para o uso de pavimento de asfalto emborrachado para muitos estados, descobertas recentes têm reforçado a adoção do material, especialmente em construções de grande escala de pavimentação como rodovias. Estradas de asfalto com borracha são mais duráveis, sendo significativamente menos quebradiço e oferecendo resistência à fissuração e tem potencial para durar mais de 10 anos. Sua superfície lisa e maiores resistências proporcionam uma melhor qualidade de passeio. (CURY et al., 2015).

As vantagens de se utilizar a borracha triturada de pneus nas misturas asfálticas devem levar em consideração os benefícios de cunho ambiental e de engenharia (FERNANDES JÚNIOR, 2015).

O uso do asfalto com borracha começou como um meio para resolver o problema da eliminação de pneus velhos, que são um risco de incêndio e ocupam grandes quantidades de espaço em aterros sanitários. Incorporando (como borracha de pneus triturados) para o pavimento era uma forma barata de ambos reciclagem da enorme quantidade de pneus velhos, reduzindo o preço do pavimento de asfalto (CURY; et al., 2015).

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Este trabalho tem como objetivo, o estudo sobre a reutilização de pneus inservíveis na construção da massa asfáltica, a diferença entre o asfalto borracha e o asfalto convencional, o custo manutenção e a melhoria na pavimentação asfáltica.

Suas vantagens em relação aos outros tipos de asfalto existente, demonstrar a aplicação do asfalto borracha nas rodovias brasileiras, mostrando seus pontos favoráveis e conseqüentemente usando resíduos que seriam descartados na natureza.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Sustentabilidade ambiental ocorrida na pavimentação com o uso de pneus.
- Utilização de pneu na pavimentação asfáltica.
- Vantagens do asfalto AMB em relação asfalto convencional CBUQ.

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 Natureza da pesquisa

É caracterizada como descritiva, é aquela que descreve um objetivo de estudo, como, população, empresa, situação, fenômeno e problema, e estabelece relações entre variáveis.

Quanto à metodologia utilizada, baseia-se na revisão da literatura acerca do tema proposto, com base em diversos materiais já publicados. A pesquisa bibliográfica é então realizada com o objetivo de aumentar o conhecimento disponível sobre as teorias para analisar, gerar ou explicar o objeto de estudo, exclusivamente a partir de fontes bibliográficas (CHIARA, KAIMEN, et al., 2008).

Outro método utilizado foi o quantitativo. Já que visa à quantificação das informações e dados coletados, para assim gerar medidas precisas e confiáveis, evitando interpretações subjetivas e distorções de análise (GRESSLER, 2004).

#### 3.2 Coleta de dados

O procedimento para coleta de dados foi baseado em pesquisa bibliográfica exploratória para encontrar soluções construtivas e sustentáveis, para o uso da pavimentação do Asfalto Borracha e suas características, através da internet, utilizando o google acadêmico e vários artigos científicos, visando ter um maior aprofundamento e levantamento de dados.

#### 3.3 Análise dos dados

Tem como função e objetivo organizar dados concretos que possibilitam resposta aos problemas propostos para inquirição.

As informações coletadas foram analisadas e concretas sobre as vantagens e desvantagens, melhorias ocorridas no pavimento com o uso da borracha, método para reutilização de pneu na pavimentação asfáltica, manutenção do asfalto borracha em relação a técnicas tradicionais de pavimentação, conhecimentos básicos sobre o pneu e de modo geral sobre o Asfalto Borracha.

## 4 REVISÃO DE LITERATURA

### 4.1 Pavimentação Asfáltica

Desde cedo, o ser humano percebeu a necessidade de expandir seus territórios e encontrar uma forma de facilitar seu acesso às áreas agricultáveis e às fontes de materiais necessários para sua sobrevivência e desenvolvimento, como: madeira, rochas, minerais e água. A partir dessa necessidade, os humanos começaram a construir estradas (Balbo, 2007).

As estradas pavimentadas se destacam a cada dia pela facilidade e rapidez de transporte que facilitam. Os benefícios que geram são cruciais para o desenvolvimento socioeconômico do mundo, pois além de proporcionar maior conforto e segurança aos usuários, eles também podem economizar muito tempo de viagem e custos operacionais. Por isso, a necessidade de proteger e restaurar os pavimentos tornou-se cada vez mais integral e essencial ao bem-estar social (Gonçalves, 2002).

A “asfaltagem”, ou pavimentação de estradas ou ruas, é sem dúvida uma das mais importantes intervenções do poder público voltadas para a melhoria do saneamento básico e, conseqüentemente, da qualidade de vida das comunidades, pois desencadeia e completa, incorporando novos benefícios (diretos e/ou ou indiretamente) o processo em curso de garantia da cidadania da população interessada. A pavimentação de estradas melhora a saúde do meio ambiente; facilita e regula a coleta, condução e descarte de água da chuva; permite um transporte público mais eficiente e rápido devido a melhores condições de operação, e facilita e reduz o tempo de deslocamento das pessoas; incentiva a instalação comercial, industrial, e infraestrutura de serviços nas proximidades; incentivar melhorias nas habitações e outras ocupações existentes em ambos os lados de vias arteriais pavimentadas; valorizar imóveis lindeiros, etc. (ABEDA, 2010).

De acordo com a NBR-7207 (1982), o número de camadas que compõem o pavimento é definido e padronizado da seguinte forma:

- **Subleito:** terreno de fundação de pavimento ou de revestimento;

- **Sub-base:** Camada corretiva para o leito da estrada, adequada para qualquer situação não é recomendado colocar o pavimento diretamente sobre o leito obtido terraplenagem;
- **Base:** projetada para resistir e distribuir de tráfego de veículos revestidos;
- **Revestimento:** camada, preferencialmente impermeável, exposta à ação passo a passo, com a dupla função de promover a segurança e promover a segurança transporte conveniente.

**Figura 1** - Composição do pavimento asfáltico.



Fonte: ESTARTE PAVIMENTAÇÃO, 2022.

Em 25 de agosto de 1928, foi inaugurada a primeira estrada asfaltada do país, a Rio-Petrópolis. No entanto, a ligação entre a capital federal e a cidade imperial é uma estrada de terra.

Hoje, a via faz parte da BR-040, que liga o Rio de Janeiro a Belo Horizonte e Brasília. O trecho entre Rio de Janeiro e Petrópolis leva o nome de Washington Luis (ACERVO/O GLOBO, 2017).

#### 4.2 Revestimento asfáltico

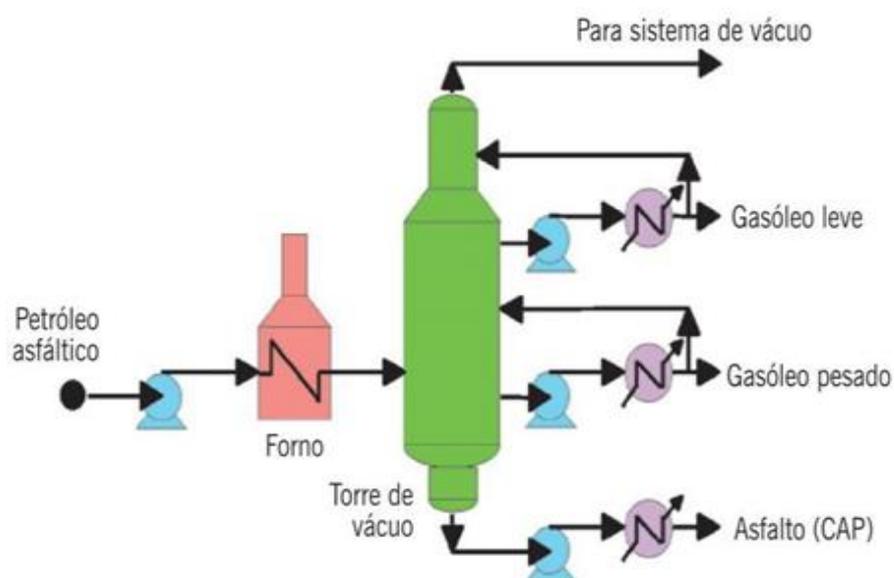
O revestimento asfáltico é a camada superior projetada para resistir diretamente ao comportamento do tráfego e transmiti-lo à camada inferior de maneira

atenuante, tornando a superfície da estrada impermeável e melhorando as condições de rolamento.

Pode-se dizer também que o asfalto é o material ligante de consistência subprodutos de petróleo variáveis, escuros, constituídos por hidrocarbonetos cadeias macromoleculares (ROBERTS et al., 1998).

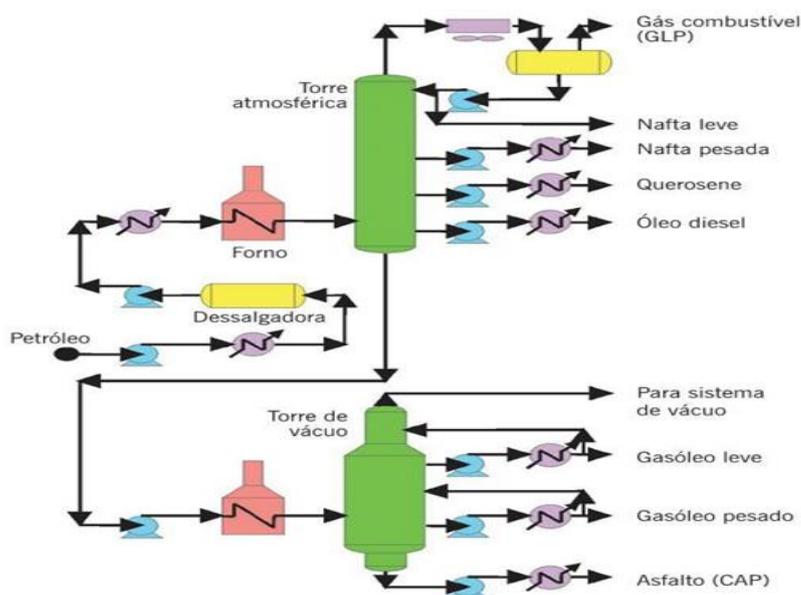
A produção de asfalto é realizada através do processamento de petróleo bruto, é refinado para que a separação e/ou transformação de seus constituintes possa ocorrer. Existem vários processos de refino de petróleo que produzem ligantes asfálticos, a mais antiga, porém, é a destilação direta, que pode ser feita em um ou dois estágios (BERNUCCI et al., 2008).

**Figura 2** - Esquema de produção de asfalto em um estágio.



Fonte: TONIAL E BASTOS, 1995.

**Figura 3** - Esquema de produção de asfalto em dois estágios.



Fonte: TONIAL E BASTOS, 1995.

### 4.3 Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP)

É um derivado de petróleo de alta viscosidade, sólido ou semi-sólido à temperatura ambiente e de cor preta ou marrom. São obtidos pelo refino do petróleo e, além de não voláteis, possuem propriedades repelentes à água e adesivas. Tornam-se líquidos e voltam ao seu estado original quando aquecidos, apresentando assim termoplasticidade (PETROBRAS, 2021).

A consistência de um CAP depende da quantidade de fração de óleo residual, que é o critério utilizado para sua classificação, convertido a partir de viscosidade ou permeabilidade (PETROBRAS, 2021).

O Cimento Asfáltico de Petróleo ou PAC é obtido e produzido em sistemas de refino de petróleo principalmente por ser de qualidade e consistência suficientes para a construção e manutenção de pavimentos asfálticos devido a sua flexibilidade, além de suas propriedades adesivas e impermeáveis, também é altamente resistente a ação da maioria dos ácidos, sais e álcalis (ESTRUTA ASFALTOS, 2020).

O CAP é utilizado para serviços térmicos como: concreto asfáltico, mistura pronta, areia asfáltica e preparação de superfícies. O CAP não deve ser aquecido acima de 177°C, caso contrário existe o risco de oxidação do adesivo e craqueamento

térmico. O aquecimento deve ser realizado até obter uma consistência adequada à sua aplicação, a partir da relação viscosidade/temperatura para obter a temperatura ideal de uso. Não deve ser usado em dias chuvosos, superfícies molhadas e temperaturas ambientes abaixo de 10°C (ESTRUTURA ASFALTOS, 2020).

O CAP pode ser dividido nas seguintes "grades", 30/45, 50/70, 85/100, 120/150 e 150/200.

#### 4.4 Emulsões Asfálticas

Emulsão asfáltica é uma mistura de material betuminoso ou betume aplicado a frio, emulsionado em água por aditivos dispersantes, normalmente utilizado para impermeabilização ou preparação de fundações, tapumes, muros de arrimo, fundações etc.

Nos últimos anos se propagou para dois tipos de serviços: por mistura e por penetração.

##### **Por mistura:**

Os serviços de mistura incluem pastas asfálticas, micro revestimento e reciclagem. O serviço consiste na aplicação de uma argamassa composta por agregado e emulsão betuminosa, pré-misturada.

##### **Por penetração:**

Um dos principais exemplos de serviços por penetração é o tratamento de superfície, onde camadas de emulsão e camadas de agregado são aplicadas alternadamente.

Para este tipo de trabalho, a emulsão é pulverizada, o agregado é enrolado ou escorre na superfície, a emulsão se decompõe e o betume restante é curado.

No Brasil, as emulsões betuminosas são classificadas de acordo com sua velocidade de dissolução (que pode ser rápida, média, lenta ou controlada) e teor de betume, sendo a primeira classe de baixo resíduo e a segunda classe de alto resíduo (CLAUDIA FERREIRA RIBEIRO, 2019).

**RR** – emulsão de Ruptura Rápida; Sistema que consiste em uma dispersão da fase piche em uma fase aquosa, apresentando partículas carregadas positivamente (ESTRUTURA ASFALTO, 2020).

**RM** – emulsão de Ruptura Média; Sistema que consiste em uma dispersão da fase piche em uma fase aquosa, apresentando partículas carregadas positivamente (STRUTURA ASFALTO, 2020).

**RL** – emulsão de Ruptura Lenta; Sistema que consiste em uma dispersão da fase piche em uma fase aquosa, apresentando partículas carregadas positivamente (STRUTURA ASFALTO, 2020).

#### 4.5 Asfaltos Modificados

O asfalto modificado é um tipo de cimento asfáltico que, durante a industrialização, adquiriu propriedades específicas que atendem aos requisitos de desempenho de impermeabilização, tais como: aderência, flexibilidade e durabilidade.

À temperatura ambiente, tem propriedades sólidas, mas como é um termoplástico, sua consistência muda dependendo da temperatura de aquecimento e pode ser mais ou menos fluida.

A modificação do ligante asfáltico proporciona uma série de ganhos em termos estruturais para a mistura asfáltica, tais como:

- Maior resistência e flexibilidade;
- Excelente aderência;
- Excelente resistência a fadiga.

#### 4.6 Asfaltos Diluídos

Os asfaltos diluídos de petróleo (ADP) produzidos por CAP e diluentes adequados são usados para pavimentação por penetração e aplicação em temperaturas mais baixas do que normalmente usados, ao usar CAP. Serviço típico usando ADP são macadames betuminosos, processados a frio e alguns frios pré-misturados, além da impermeabilização.

O Departamento Nacional de Combustíveis (DNC) o divide em três categorias de acordo com a velocidade de cura: cura rápida, cura média e cura lenta. O Brasil não produz a última categoria de ADP.

- O asfalto diluído de cura rápida (CR) é composto de cimento asfáltico, é um diluente de alta volatilidade do tipo nafta na faixa de destilação da gasolina;
- A cura moderada (CM) consiste em cimento asfáltico, é um diluente de média volatilidade do tipo querosene.

Esta classificação é baseada na taxa na qual o solvente evapora. Como o solvente é volátil, ele evapora após o uso, tornando o cimento asfáltico duro (PETROBRAS, 2021).

#### 4.7 Histórico do Asfalto Borracha

A utilização do Asfalto Borracha teve início através do estudo de uma empresa americana, no qual, desenvolveu um produto a base do ligante de borracha chamada ramflex.

Na década de 1960, o engenheiro Charles H. McDonald iniciou pesquisas quando percebeu que o composto que fazia para consertar rachaduras no teto dos carros, com o tempo, não corroía e tinha alta resistência, então decidiu incorporá-lo ao asfalto. pneus com material elastomérico podem ser usados para tratar de questões relacionadas à durabilidade, resistência e flexibilidade.

As especificações desenvolvidas naquela época por McDonald eram bastante empíricas e simplistas, concluindo que seria necessário pelo menos 15% de borracha no asfalto para alcançar viscosidades e elasticidades satisfatórias, com teores ideais de 20 a 25%. A uma temperatura de 177°C e o tempo de mistura mínimo de 45 minutos segundo Way (2009). Este processo recebeu o nome de “via úmida”, patenteado por McDonald em 1978.

Em 1991 o ISTEPA, determinou que as pavimentações asfálticas nos Estados Unidos deveriam ser feitas da decomposição de pneus. Essa prática era amplamente utilizada em 90% do pavimento no Arizona, Califórnia e Flórida.

Na atualidade o emprego de asfalto borracha é uma realidade ao redor do mundo, com aplicações na Europa, na Austrália, África do sul, Ásia (especificamente em Taiwan, China). Existem experiências recentes do material em trechos experimentais na Colômbia, Argentina, Uruguai e Chile (KLINSK FARIA, 2017).

**Figura 4** - Asfalto borracha em Las vegas.



Fonte: ASFALTO BORRACHA, 1999.

Em agosto de 2001, na rodovia BR-116, no Rio Grande do Sul, Brasil, a adição de BMP (borracha moída de pneu) ao ligante asfáltico, trecho Guaíba Camaquã, consolidou o pioneirismo na aplicação dessa tecnologia, diferentemente de outros países, sua aplicação nas rodovias brasileiras ainda é baixa por falta de investimento em pavimentação (NUCLEODOCONHECIMENTO, 2018).

**Figura 5** - Asfalto borracha na BR 116/RS.



Fonte: NUCLEODOCHECIMENTO, 2018.

O custo é muito alto em relação ao asfalto tradicional, mas considerando a qualidade, durabilidade e menor custo de manutenção, considerando que a

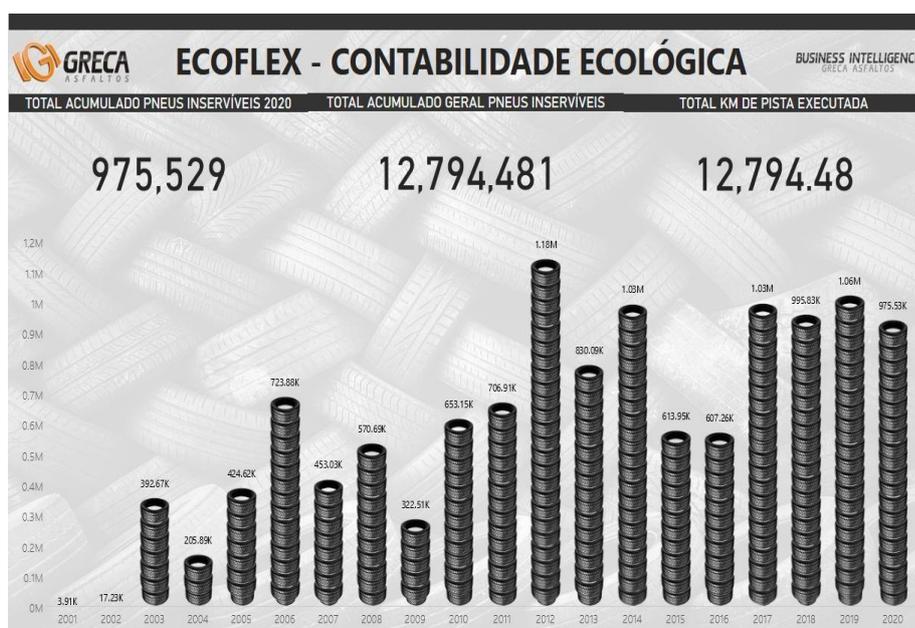
reciclagem dos pneus inservíveis será uma solução para os problemas ambientais, utilizar o asfalto borracha para melhorar a pavimentação torna-se questão crucial.

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) adotou a Resolução nº 258/9, de 26 de agosto de 1999, proibindo as empresas de pneus, fabricantes e importadores de descartar de forma desordenada no meio ambiente pneus em fim de vida, sem destilação final adequada. Desde 1999, o Brasil reciclou aproximadamente 200 milhões de pneus.

Especificações de serviço para concreto asfáltico AMB já estão disponíveis hoje Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo, Rio de Janeiro De Janeiro, Minas Gerais, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul (JÚNIOR, 2012).

Segundo à empresa Greca Asfaltos, pioneira no uso de asfalto Borracha (2020), ultrapassou 12.000 quilômetros de ruas, estradas e Estradas pavimentadas e 12.000.000 de pneus para produção de asfalto borracha brasileira. Isso ainda não é suficiente porque, segundo a CNT (2017), o país tem A quilometragem total das estradas é de 1.720.756 quilômetros, dos quais apenas 211.468 quilômetros são pavimentados. A figura 6 Mostra o número de pneus inservíveis usados na fabricação do asfalto borracha entre os anos de 2001 a 2020.

**Figura 6 - Total de pneus inservíveis utilizados.**



Fonte: GRECA ASFALTO, 2020.

#### 4.8 Sustentabilidade ambiental

Milhões de pneus são produzidos diariamente em todo o mundo, e sua reciclagem nos orienta a utilizá-los corretamente e minimizar o impacto no ecossistema.

O tempo estimado de decomposição dos pneus é de 600 anos, os danos que este material pode causar quando mal manuseado como resultado deste atraso (TEXACO, 2021).

O descarte inadequado de pneus velhos pode entupir rios e redes de esgoto, causando enchentes e tornando-se um criadouro de insetos transmissores de doenças.

Os pneus também são uma fonte de várias doenças. Dengue, malária e febre amarela são algumas das doenças decorrentes do manuseio inadequado dos pneus. Ao acumular água e sujeira, os pneus também poluem o solo, podendo levar a infecções em humanos e até mesmo em animais que se alimentam de recursos naturais contaminados pelos resíduos químicos eliminados que fazem parte da consistência do pneu (PENSAMENTO VERDE, 2018).

Além disso, ocupam espaço considerável em aterros sanitários e podem se tornar uma fonte de poluição atmosférica se incinerados de forma inadequada.

Só no Brasil, 70 milhões de pneus são produzidos anualmente, e 160 milhões de pneus usados são produzidos no mesmo período (TEXACO, 2021).

Não bastassem os efeitos devastadores sobre o meio ambiente e a atmosfera, a fabricação de pneus demanda quantidade extraordinária de matérias-primas. Como: aço, borracha natural e petróleo.

Mesmo que o manuseio de pneus seja complicado, isso pode ser feito corretamente. Isso porque existem centros de processamento dedicados a envelhecer corretamente os pneus sem agredir o meio ambiente. Nesses locais, o processo de reciclagem de pneus velhos é complicado, mas todos os pneus inservíveis estragam (PENSAMENTO VERDE, 2018).

#### 4.9 Pneu e seus impactos ambientais

No início, a borracha era pouco mais que uma cola "pegajosa" para impermeabilizar tecidos e, quando exposta a altas temperaturas, corria riscos de se dissolver. Depois de alguns experimentos pelo americano Charles Goodyear no ano de 1830, foi inesperadamente confirmado que a borracha cozida em alta temperatura com enxofre mantém seu estado elástico quando fria ou quente. Foi descoberto o processo de vulcanização da borracha, publicado apenas em 1843, que possibilitou a construção de pneus, melhoria da segurança na frenagem e redução da vibração em automóveis.

Em 1845, o inglês Robert Thompson prendeu um tubo de borracha a uma roda de madeira e patenteou o primeiro protótipo de pneu. Em 1888, o primeiro pneu de bicicleta foi fabricado por John Boyd Dunlop. Alguns anos depois, em 1895, os irmãos Michelin assumiram a liderança no pedido de patente para pneus de automóveis, e os pneus têm sido usados em larga escala desde então.

Desde então, utilizando borracha natural, pneus substituiu os aros de ferro e madeira usados nos carros da época vez, seguindo o mesmo conceito de carrinho e buggy.

Devido à sua alta resistência ao impacto e excelente durabilidade, a borracha proporciona mais flexibilidade, conforto e segurança durante o transporte. Borracha Alta resistência à vulcanização, elástico, hermético, resistente ao desgaste, eficaz Química, Aquecimento e Elasticidade.

O Brasil começou a produzir pneus em 1934, quando foi implantado o Plano Diretor Nacional de Veículos. No entanto, o plano se concretizou no ano de 1936 com a instalação da Companhia Brasileira de Artefatos de Borracha (Pneus Brasil) no Rio de Janeiro no Rio de Janeiro, onde a empresa produziu mais de 29.000 pneus em seu primeiro ano.

Desde então, o Brasil instalou mais de 15 fábricas de pneus, sendo quatro internacionais: Goodyear, Bridgestone Firestone, Michelin e Pirelli. Nos dias de hoje, na produção mundial, o Brasil ocupa o sétimo lugar na categoria pneus para automóveis e o quinto em pneus para caminhões, ônibus e vans.

De acordo com IBGE (2014), o Brasil possui cerca de 202,7 milhões de habitantes e 86,7 milhões de veículos registrados segundo o DENATRAN (2014). Assim, o Brasil possui uma média de 2,3 habitantes/veículos. Segundo projeções

realizadas pela Empresa de Pesquisa Energética EPE (2014), estima-se que a frota de veículos individuais e comerciais leves irá atingir cerca de 130 milhões de unidades até 2050, isto é aproximadamente 1 veículo a cada 1,7 habitantes.

Devido a todos os transtornos causados pelos usuários e a crescente demanda pelo produto, é fundamental buscar caminhos de reutilização que desde a reforma, a possibilidade de aliar desenvolvimento tecnológico à sustentabilidade, por meio de ações que promovam a sustentabilidade, até a preservação dos recursos naturais e o equilíbrio do meio ambiente.

Por isso, em busca de uma solução para o descarte adequado dos pneus, se planejar, gerenciar, armazenar e transportar mercadorias de volta vendas e pós-consumo, agregando valores econômicos e ambientais,

chamada de logística reversa, porque é um fluxo reversível no ciclo de produção, do local de uso ao local de origem (SOUZA, 2014).

No Brasil, a logística reversa é regulamentada pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA). Na resolução nº 258 de 1999 do CONAMA, o governo federal determina que fabricantes e importadores recolham e promovam um fim ambientalmente adequado aos pneus que comercializam no país e a obrigação dos consumidores a entregar aos revendedores, comerciantes ou distribuidores os produtos após seu consumo que estão sujeitos à logística reversa.

Em 2009, a resolução acima deu lugar à resolução do CONAMA

(2009) nº 416, que, além da decisão do antecessor, afirma explicitamente que os pneus usados devem ser reutilizados ou reformados, e seu destino adequado é a reciclagem (Brasil, 1999).

Oda (2000) propôs um fluxograma de reciclagem de pneus inservíveis e suas consequências diante do meio ambiente e possível reutilização, mostrada através da figura abaixo.

**Figura 7** - Esquema do reaproveitamento de pneus descartados.



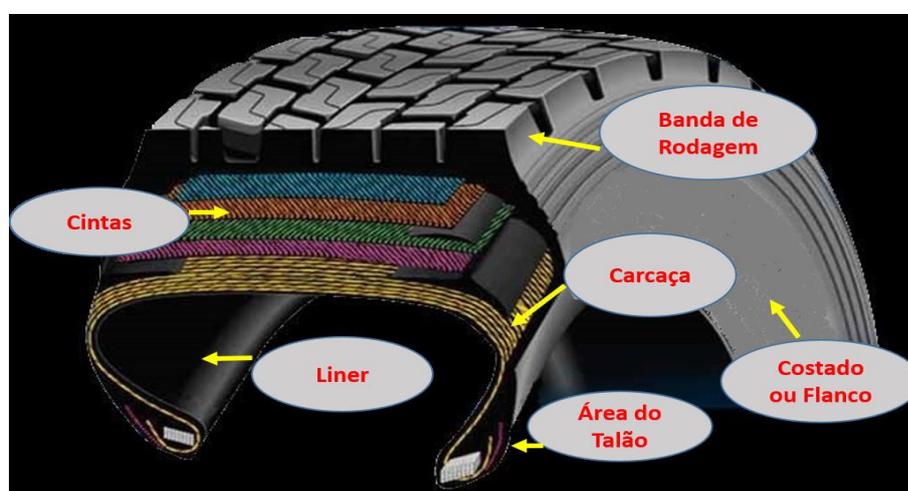
Fonte: ADAPTADO DE ODA, 2000.

Existem milhares de pneus descartados todos os dias, com seu destino podendo ser reutilizável para reciclagem, aterro e armazenamento, no entanto, a falta de informação pode levar ao descarte inadequado. (Almeida, 2018).

Para reaproveitar pneus inservíveis na pavimentação, os pneus devem passar por um processo de britagem e moagem em que a separação de aço e nylon, uma vez que apenas a borracha em pó é misturada com asfalto.

Mostra a estrutura típica de um pneu através da Figura 8, mostrando as partes que o compõem para melhor compreensão:

**Figura 8** - Partes constituintes da estrutura típica dos pneus.



Fonte: GUILHERME JUNQUEIRA FRANCO, 2016.

Os pneus são um engenhoso composto de aço, nylon, poliéster e borracha responsáveis pela verdadeira ligação entre o veículo e a estrada. Sua fabricação envolve um processo fascinante de engenharia e ciência (RODABRASIL, 2018).

#### 4.9.1 A incorporação da borracha de pneu na massa asfáltica

A necessidade de melhor asfalto depende dos impactos habituais, da construção e das condições climáticas, já que os altos custos de manutenção se tornam um problema sério nas rodovias brasileiras a cada ano.

Em busca de um asfalto menos sensível, com alta resistência, maior flexibilidade e coesão, e utilizando seus componentes, o asfalto-borracha foi desenvolvido para melhorar o asfalto e solucionar os problemas causados pelo descarte incorreto de milhões de pneus no meio ambiente.

O asfalto-borracha é um revestimento constituído de cerca de 14% de pó de pneu moído. O asfalto-borracha é feito pela adição de borracha moída de pneus ao concreto asfáltico de petróleo (PAC) aquecido em um reator especial (GABRIEL BONAFÉ, 2017).

O processo de fabricação altera as propriedades físico-químicas do material, resultando em produtos de alto desempenho com valores de viscosidade, ponto de amolecimento e capacidade elástica superiores ao asfalto convencional (GABRIEL BONAFÉ, 2017).

Seu uso tem sido um dos mais utilizados em projetos de pavimentação de alto desempenho em todo o mundo, enquanto inserido borracha de pneu ao ligante de asfalto, as propriedades dos polímeros e antioxidantes presentes nos pneus, oferecendo melhorias em vários aspectos sob as misturas asfálticas. Além de minimizar os problemas ambientais de pneus inservíveis descartados ao meio ambiente (GABRIEL BONAFÉ, 2017).

A pavimentação de borracha é a adição de pneus inservíveis e seus agregados, areia e borracha triturada em óleo ao asfalto convencional com ou sem aquecimento, podendo também ser utilizado como aditivo após o processo de extrusão (SILVA, 2018).

Método de produção de pó de borracha para fabricação de asfalto borracha por meio de um conjunto de equipamentos montados em circuito fechado com moinho e

equipamento para moagem de grânulos de borracha em pó de borracha. Pó de borracha feito de sucata de pneus ou grânulos de borracha de peças de borracha prensadas.

Segundo Specht (2004), o processo de produção de pó de borracha consiste em um circuito fechado de equipamentos, um moinho circular rotativo para britagem e moagem de matérias-primas e uma peneira vibratória aberta para pré-separação de partículas de tamanho inaceitável. , para que retornem ao moinho através da rosca transportadora para novo processo de trituração até obter a granulometria desejada, sendo então encaminhados para o próximo equipamento, que é uma peneira rotativa fechada, utilizada como separador automático, e equipada com tamanhos de malha iguais ou diferentes. Usado para separar classificações adequadas. A próxima etapa envolve a conversão físico-química do pó de borracha em borracha reciclada ou borracha com até 65% das propriedades da borracha virgem.

A borracha utilizada para o asfalto modificado é proveniente da reciclagem de resíduos de pneus e é composta basicamente por borracha natural, borracha sintética e negro de fumo. Quanto menor o tamanho da partícula de borracha, mais facilmente ela pode ser incorporada ao betume, resultando em melhor compatibilidade e, portanto, maior estabilidade de armazenamento. À medida que aumenta o número de veículos nas vias, o asfalto precisa atingir melhor desempenho (SPECHT, 2004).

Segundo Gonçalves (2002), o processo de obtenção da borracha moída para pneus tem influência significativa na forma, na textura e em determinadas propriedades físicas das partículas, podendo afetar positiva ou negativamente as propriedades do ligante asfáltico emborrachado. Existem dois tipos de retificação de pneus: retificação mecânica e retificação a baixa temperatura.

- Desbaste mecânico: inclui corte e cisalhamento de borracha em temperatura ambiente. O atrito resultante aumenta a temperatura da borracha. O processo pode ser feito em granulador com granulometria variando entre 2,0 e 9,5 mm, ou em moinho utilizando tambores giratórios bem próximos, operando em diferentes velocidades, onde a granulometria varia entre 0,425 e 4,75 mm.

- Moagem criogênica: Durante este processo, a borracha é imersa em nitrogênio líquido de  $-87^{\circ}$  a  $198^{\circ}\text{C}$ . Abaixo da temperatura de transição vítrea dos elastômeros presentes na borracha (aproximadamente  $62^{\circ}\text{C}$ ), o material torna-se quebradiço e quebra facilmente no tamanho de partícula desejado. As partículas

obtidas por moagem a baixa temperatura são de forma regular, textura lisa e tamanho de partícula entre 0,6 e 6,35 mm.

**Figura 9** - Máquina de transformação em pó de pneu.

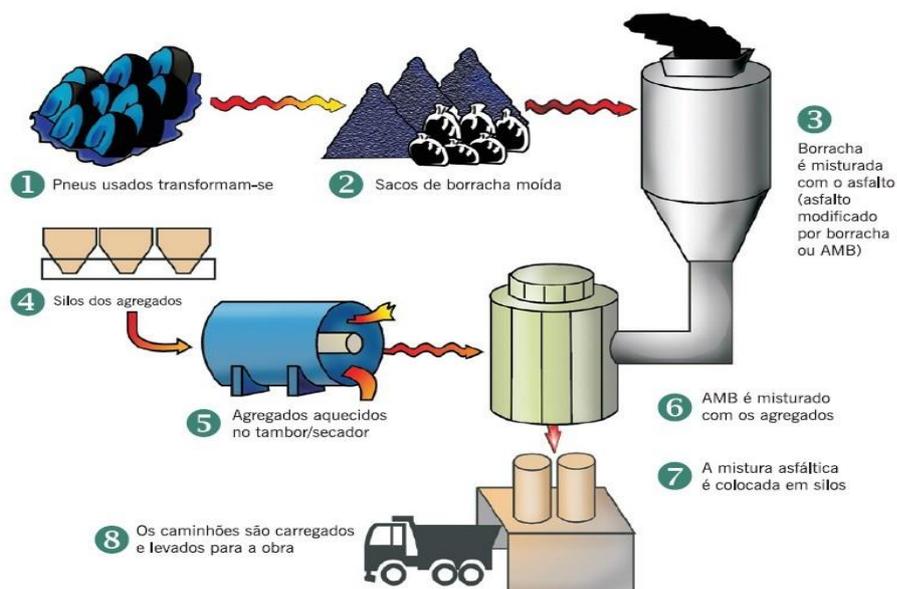


Fonte: MADE-IN-CHINA, 2014.

Para inserção da borracha no pavimento, são utilizados dois métodos incorporados da borracha triturada de pneus às misturas asfálticas: o processo seco e o processo úmido.

No processo seco, como destaca Bertollo (2002), as partículas de borracha adicionadas à massa asfáltica substituem parte dos agregados pétreos na mistura. Após a adição do ligante asfáltico, formam um produto denominado “concreto asfáltico modificado com adição de borracha”. O processo consiste em adicionar de 1% a 3% de borracha granulada em relação ao peso total da mistura asfáltica, com os grânulos de borracha variando de 6,3 mm a 2,0 mm. O propósito é que a borracha ocupe os vazios tipicamente encontrados de 2% a 4% da mistura, que é usualmente obtido com um conteúdo de cimento asfáltico variando entre 7,5% à 9%, segundo, (HEITZMAN, 1992).

**Figura 10** - Esquema de fabricação do asfalto borracha estocável.



Fonte: ABEDA, 2010.

Já o processo úmido, a borracha é finamente triturada e adicionada ao cimento asfáltico de petróleo aquecido, produzindo um tipo ligante modificado, que é denominado de “asfalto-borracha”. Em processos úmidos, o pó de pneu normalmente constitui 15% a 20% em massa do ligante ou 1,5% da massa total (BERTOLLO, 2002).

#### 4.9.2 Equipamentos necessários para aplicação do asfalto borracha

- Rolos compactadores

Os rolos compactadores são máquinas utilizadas para compactar solo, areia e outros tipos de terreno. Seu uso visa a obtenção de terrenos mais densos para a construção de projetos como edifícios, rodovias etc. Existem vários tipos de rolos, cada um dos quais realiza uma tarefa específica. Para cada tipo de solo ou terreno, existe um modelo mais adequado para melhor aproveitamento e resultados.

É por isso que muitos processos de assentamento de estradas são tão demorados: a compactação do solo ocupa a maior parte do tempo de preparação do trabalho.

**Figura 11** - Rolo compactador Tandem.



Fonte: Caterpillar. Roleta Vibratório em Tandem CB534D XW

- Vibroacabadoras

Uma pavimentadora ou vibroacabadora de asfalto é uma máquina que geralmente é acoplada a um caminhão para realizar as operações de aplicação, nivelamento e pré-compactação do concreto asfáltico (MASON EQUIPAMENTOS).

As pavimentadoras são usadas para aplicação e nivelamento e são usadas com equipamentos como caminhões basculantes e rolos compactadores.

**Figura 12** - Caminhão basculante e vibroacabadora de asfalto sobre esteiras.



Fonte: DIVULGAÇÃO VOLVO CE, 2014.

- Caminhões espargidores

Os espargidores retêm a emulsão asfáltica em seu tanque para aquecimento e bombeamento, que é utilizado para lançar o solo de rodovias e vias públicas.

O uso adequado de espargidores é fundamental para determinar o sucesso de um serviço de pavimentação asfáltica.

Um espargidor tem um tanque cheio de emulsão asfáltica ou polímero, bomba e equipamento de medição e uma bomba de lançamento.

**Figura 13** - Caminhão espargidor.



Fonte: GUIA SOBRE ESPAGIDORES ASFÁLTICOS, 2021.

- Motoniveladora

A motoniveladora realiza o acabamento da fundação, nivelando o local e preparando-o para receber o asfalto.

Uma motoniveladora é um dispositivo usado para mover e nivelar o solo. Possui uma lâmina que pode ser inclinada em várias posições em relação ao seu eixo de deslocamento e à horizontal.

Sua principal função é fazer terraplanagem para o terreno. Ou seja, nivelar um determinado perímetro do solo.

**Figura 14 - Máquina motoniveladora.**



Fonte: VLADIMIR NENEZIC, 2014.

- Trator de esteira

Os tratores de esteira são usados para serviços de base, para preparação do terreno a ser pavimentado.

**Figura 15 - Trator de esteira.**



Fonte: CASE CONSTRUCTION, 2022.

### 4.9.3 Vantagens e desvantagens do uso da borracha no pavimento

A tecnologia de borracha reciclada de pavimento asfáltico ainda é muito promissora devido ao processo de utilização de borracha em pavimentos asfálticos está em plena expansão e desenvolvimento, pois segundo a pesquisa da UFRGS em conjunto com a Greca Asfaltos, foram consumidos cerca de 1.000 a 1.200 pneus para a fabricação de um quilômetro de asfalto-borracha, (GRECA ASFALTOS).

A adição de pó de borracha de pneu aos ligantes asfálticos tornou-se uma revolução altamente sustentável com vantagens econômicas e ambientais, mas ainda existem algumas desvantagens associadas ao asfalto borracha.

#### Vantagens

A pavimentação asfáltica em borracha oferece vantagens em relação ao asfalto convencional, embora ainda seja um recurso sustentável.

- Aumento da flexão
- Diminui o ruído entre o pneu e a estrada
- Diminui a espessura da pavimentação
- Aumento da vida útil do pavimento
- Envelhecimento mais lento
- Economia de combustível
- Reduz o aparecimento de rachaduras a longo prazo
- Melhor elasticidade
- Maior aderência e melhor desempenho de frenagem durante a condução

## Desvantagens

- Heterogeneidade física e química por diferentes razões além do tamanho de partícula muito pobre, a composição de cada tipo de pneu.
- A trabalhabilidade da mistura asfáltica é menor, a temperatura da mistura é maior, a compactação emite mais gases poluentes do que as misturas convencionais e nocivo para a saúde humana (suspeita de ser mutagénico e/ou cancerígeno).
- Maior dificuldade de operação e execução, exigindo equipamentos especiais, trabalhar em temperaturas mais altas.

### 4.9.4 Custo de execução e manutenção

O pavimento asfáltico de borracha eco reciclável tem benefícios comprovados na aplicação, mas o custo de implantação é superior ao do asfalto tradicional, que é 30% mais caro em média, considerando apenas a execução dos serviços, um quilômetro é 117.000 reais, enquanto o pavimento tradicional é cerca de 90.000 reais (Mendes e Nunes, 2009).

A utilização de resíduos de pneus na pavimentação, além de ser causa de sustentabilidade ecológica, aumenta a vida útil do pavimento e reduz a quebra do processo de pavimentação e a extinção de patologias.

Além das altas temperaturas, um fator de custo de execução é a necessidade de equipamentos especiais, a precisão de profissionais qualificados e o maior controle técnico.

Na cidade brasileira de Curitiba realizou um estudo comparativo sobre custos de construção e manutenção em 2012. O estudo avaliou o custo de manutenção do asfalto convencional e do asfalto borracha como sendo o mesmo, pois ambas as formas de pavimentação requerem manutenção.

Ao selecionar 2 segmentos de 100 metros para cada tipo de pavimento, com um total de 400 metros. Para valores de comparação, foram utilizadas as tabelas da Prefeitura Municipal de Curitiba, que é responsável por Implementação do trabalho em 2005. Como as estradas são municipais, este órgão também será responsável pela manutenção.

A pesquisa mostra que, após 7 anos de uso das rotas de aprendizagem, cerca de 70% do trecho CAP-50/70 possui algum tipo de manutenção, por outro lado, a borracha asfáltica requer apenas 10% de reparo.

Segundo Sanchez; Grandini e Junior (2012) Para comparar o custo de construção do pavimento, foram utilizados os seguintes dados:

Execução do pavimento asfalto convencional:

$$R\$ = 46,66/m^2$$

Execução do pavimento Asfalto- borracha:

$$R\$ = 77,22/m^2$$

Manutenção do asfalto convencional:

$$R\$ = 67,30/m^2$$

**Figura 16** - Custo de execução do asfalto convencional e do asfalto-borracha.



Fonte: SANCHES, GRANDINI, JUNIOR, 2012.

Analisando os dados, fica claro que o custo de execução do asfalto borracha é maior. Com um valor de 65,49% maior.

Após 7 anos de construção, vários graus de corrosão foram encontrados nas estradas pavimentadas. Desta forma, gradualmente utilizando a quantidade de manutenção imposta a cada intervalo, obtém-se um novo custo de manutenção:

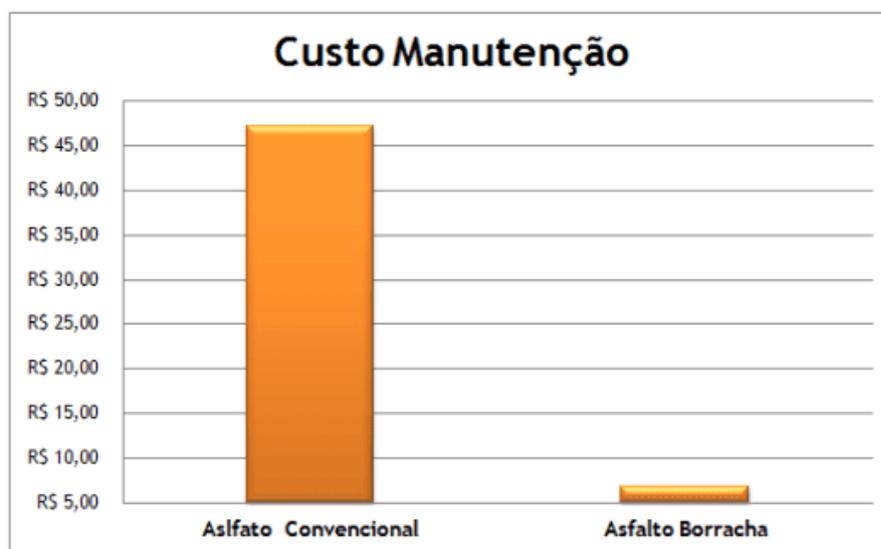
Manutenção do asfalto borracha:

$$R\$ 67,30/m^2 \times 0,10 = R\$ 6,73/m^2$$

Manutenção do asfalto convencional:

$$R\$ 67,30/m^2 \times 0,70 = R\$ 47,11/m^2$$

**Figura 17 - Custo de manutenção.**



Fonte: SANCHES, GRANDINI, JUNIOR, 2012.

Para ter um valor comparativo confiável, é necessário somar custos de manutenção e implantação.

**Figura 18 - Viabilidade financeira do asfalto borracha.**

GRANDEZAS	CÁLCULO	UNIDADE	TIPO DE ASFALTO		
			CAP 50/70	ASFALTO BORRACHA (ECOFLEX)	
A	Execução do pavimento com preparo de base em extensão	-	m	200	200
B	Custo de execução do pavimento com preparo de base	-	R\$/m²	46,66	77,22
C	Manutenção do pavimento no período de 7 anos	-	% m²	70%	10%
D	Custo geral da manutenção do pavimento	-	R\$/m²	67,30	67,30
E	Percentual de Custo Manutenção do pavimento	C x D	R\$/m³	47,11	6,73
E	Custo de execução + manutenção do pavimento	B + E	R\$/m²	93,77	83,95

Fonte: SANCHES; GRANDINI; JUNIOR, 2012.

Somando implantação e manutenção, o asfalto convencional custou 11,69% a mais no período de 7 anos.

A abordagem mais viável é aplicação do asfalto borracha e todos os seus parâmetros de desempenho.

#### 4.9.5 Parâmetro de desempenho

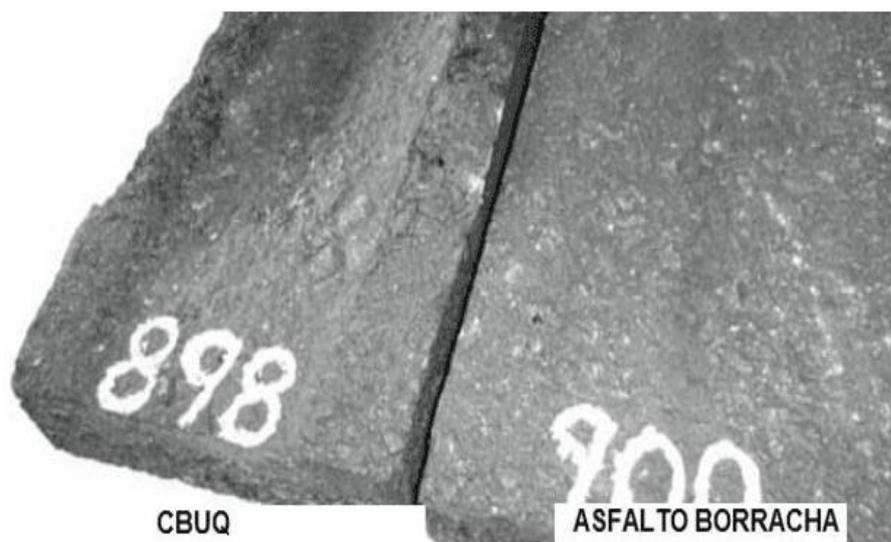
Conforme definido por Mendes e Nunes (2009), os estudos realizados nos Estados Unidos foram através do monitoramento e controle de vias mostraram que a durabilidade é o dobro do asfalto comum, além de retardar a reflexão de trincas, a aplicação de ligante na pavimentação é 3 vezes menor que o convencional, ou seja, 3 vezes mais tempo para o aparecimento de trincas em pavimentos asfalto borracha.

Em busca de melhorias e explicações, o Instituto Politécnico da Universidade de São Paulo testou a deformação permanente do pavimento modificadas com asfalto borracha contra misturas asfálticas convencionais, e os resultados mostraram que o uso do asfalto borracha apresentou valores inferiores de deformação no simulador do que o asfalto convencional.

Duas placas foram submetidas ao simulador de tráfego, a placa esquerda foi confeccionada com adesivo comum e deformou 13% após 10.000 ciclos, enquanto a placa direita foi composta por asfalto borracha e somente deformou 5% após 30.000 ciclos.

A Figura 19 mostra a deformação com placas de asfalto borracha e asfalto convencional CBUQ.

**Figura 19** - Placas de pavimentos asfálticos.



Fonte: USP, 2004.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Diante dos resultados apresentados, utilizando vários sites e artigos que se retrata do tema abordado e sobre minhas conclusões, esclarece que as técnicas de pavimentação convencional existentes para rodovias não têm apresentado resultados satisfatórios, embora o modal rodoviário seja a técnica de pavimentação convencional mais utilizada no Brasil, ainda são necessárias novas tecnologias com qualidade superior para atender às necessidades de mobilidade, pois limita-se a fadigas e trincas, pode causar degradação prematura do pavimento, resultando em falta de segurança e redução do fluxo do produto.

O asfalto modificado por borracha, que foi demonstrado ao longo do estudo, melhora significativamente sua durabilidade e vida útil devido ao ligante asfáltico obtido com excelentes propriedades elastoméricas, alta viscosidade em alta temperatura e excelente viscosidade em baixa temperatura. Além dessas melhorias nos revestimentos asfálticos, também ajuda a reduzir os problemas ambientais de depósitos de resíduos de pneus que vêm assolando autoridades em diversas regiões do país.

Devido à falta de incentivos fiscais e altos custos iniciais, o asfalto- borracha ainda não é um pavimento utilizado em larga escala no Brasil em relação ao mundo. Devido às dificuldades de captação de recursos governamentais e de repasse aos recursos de pavimentação rodoviária, é necessário reinventar e buscar soluções técnicas e viáveis de pavimentação de alto desempenho e durabilidade.

Segundo Nunes e Mendes, o asfalto tem surgido como o principal material ligante utilizado na construção de rodovias e vias urbanas, porém, a grande carga de veículos comerciais e eixos de transporte de mercadorias resultou na falha prematura do pavimento, resultando em aumento de custos de manutenção, congestionamento de tráfego e atrasos do usuário.

Prevê-se que com o investimento de novas tecnologias, a aplicação do asfalto- borracha pode se tornar uma solução para obter maior potência na construção civil, a qualidade técnica atende às exigências da regulamentação, e melhora a economia técnica, e soluciona problemas ambientais, como o descarte de matérias-primas de pavimentação.

## **6 CONCLUSÃO**

O estudo sobre pavimentação asfáltica demonstrou que os problemas causados pelas rodovias têm enormes consequências para os usuários, levantando preocupações com a qualidade dos métodos utilizados e os altos custos de manutenção. Para melhorar o sistema viário, surgiu o asfalto borracha.

A borracha asfáltica garante o melhor desempenho na estrada, melhorando assim para a população, motoristas e autoridades do pavimento asfáltico, pois é muito mais barato de manter que o asfalto convencional, além de ser ecologicamente correto, pneus descartados agora são reutilizados para evitar a desordem do ambiente, porque seu tempo de decomposição é incerto.

Devido à alta demanda por rodovias, é necessário investir em pavimentos asfálticos mais eficientes. À medida que a população cresce, o mesmo acontece com a quantidade de tráfego. de veículos. Por isso, é necessário buscar constantemente alternativas mais seguras, duráveis e eficientes para atender a essa demanda. Nesse sentido, o asfalto-borracha pode servir como um poderoso aliado.

A falta de incentivo político e o custo de execução ser mais caro em relação ao asfalto convencional, são as principais causas, que faz ser tão pouco utilizado no Brasil em relação a quantidade de pavimentações existentes.

Fica nítido, que com o uso do asfalto borracha, o país deixaria de gastar tanto em manutenção de asfalto, é assim incentivando ainda mais a reciclagem de pneus inservíveis que seriam descartados no meio ambiente.

A partir da revisão bibliográfica fornecida, conclui-se que a aplicação dessa abordagem é viável e oferece diversos benefícios à sociedade, além de ser uma alternativa sustentável.

Para os estudos futuros, sugiro que busque alternativas para que possam tentar reduzir o preço de execução, para aumentar o uso do asfalto AMB no Brasil, que é tão pouco utilizado em relação ao número existente de pavimentação no país.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**Ana Paula Machado Zatarin, André Luiz Ferreira da Silva, Lehi dos Santos Anemam, Marcos Roberto de Barros, Walbert Chrisostomo** (R. gest. sust. ambient., Florianópolis, v. 5, n. 2, p. 649-674, out. 2016/mar. 2017.649), Disponível em: [https://portaldeperiodicos.animaeducacao.com.br/index.php/gestao\\_ambiental/article/download/3323/2822](https://portaldeperiodicos.animaeducacao.com.br/index.php/gestao_ambiental/article/download/3323/2822)

**Asfalto Diluído de Petróleo (ADP)**, Disponível em: <https://petrobras.com.br/pt/nossas-atividades/produtos/pavimentacao/asfalto-diluido-de-petroleo-adp/>

**CASE Construction, trator de esteiras (2022)**, Disponível em: <https://www.casece.com/latam/pt-br/produtos/tratores-de-esteiras/tratores-de-esteiras/modelos/1650l>

**Construção de estradas com motoniveladora, VLADIMIR NENEZIC (2014)**, Disponível em: <https://br.depositphotos.com/55306159/stock-photo-road-making.html>

**CAP – Cimento Asfáltico de Petróleo - Stratura Asfaltos**, 19/11/2020. Disponível em: <https://stratura.com.br/portfolio-items/cap-cimento-asfaltico-de-petroleo/>

**Douglas Pereira Oviedo, ASFALTO COM ADIÇÃO DE BORRACHA DE PNEUS INUTILIZADOS**, Disponível em: <https://monografias.brasilecola.uol.com.br/engenharia/asfalto-com-adicao-de-borracha-de-pneus-inutilizados.htm>

**Deborah Ewely Batista Pinto**, 07/05/2019, Utilização da borracha no pavimento asfáltico como melhoria nas pistas de rolamento, Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-civil/borracha-no-pavimento-asfaltico>

**ECOFLEX, (GRECA ASFALTO), 2021, 20 ANOS DE ASFALTO BORRACHA NO BRASIL,** Disponível em: <http://asfaltoborracha.com.br/>

**Felipe Gustavo Sanches, Fernando Henrique Bueno Grandini, Orlei Baierle Junior, (CURITIBA 2012), AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE FINANCEIRA DE PROJETOS COM UTILIZAÇÃO DO ASFALTO-BORRACHA EM RELAÇÃO AO ASFALTO CONVENCIONAL,** Disponível em: [https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/8364/2/CT\\_EPC\\_2012\\_1\\_11.PDF](https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/8364/2/CT_EPC_2012_1_11.PDF)

**Guia sobre Espargidores Asfálticos (ARTIGOS AUTORAIS 29/11/2021)**  
Disponível em: <https://www.ecolinksolutions.com.br/blog/artigos-autorais/guia-sobre-espargidores-asfalticos>

**Gabriel Bonafé,** Asfalto-borracha garante vias mais seguras e duráveis,  
Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/revista/materias/asfalto-borracha-garante-vias-mais-seguras-e-duraveis/15935>

**Gabriella Silva,** 05/11/2018, (Uso do asfalto borracha na pavimentação de rodovias), Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenhariacivil/pavimentacao-de-rodovias>

**Geovanni Sergio Soares Guedes,** JOÃO PESSOA/PB 2019, (ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÔMICA DO ASFALTO-BORRACHA PARA A PAVIMENTAÇÃO: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA), Disponível em: <https://bdtcc.unipe.edu.br/wp-content/uploads/2020/01/TCC-GEOVANNI-GUEDES-revisado.pdf>

**Lafaete rolo compactador,** Disponível em: <https://www.lafaetelocacao.com.br/artigos/rolo-compactador/>

**Luiz Felipe Carneiro Leão**, maio/2011 (ASFALTO BORRACHA), Disponível em: [https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUOS-9AEGRV/1/monografia\\_luiz\\_felipe\\_c.\\_leao.pdf](https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUOS-9AEGRV/1/monografia_luiz_felipe_c._leao.pdf)

**Máquinas de pavimentação: quais as mais utilizadas e suas funções (9 de abril de 2021)**, Disponível em: <https://www.bamaqmaquinas.com.br/blog/maquinas-de-pavimentacao-conheca-as-principais/>

**Prof. Dr. Jorge Augusto Pereira Ceratti, Prof. Dr. Washington Peres Nunes, (GRECA ASFALTOS)**, PORTO ALEGRE, SETEMBRO 2014, ESTUDO COMPARATIVO DO DESEMPENHO DE UM RECAPEAMENTO UTILIZANDO ASFALTO BORRACHA, Disponível em: [https://www.grecaasfaltos.com.br/wp-content/contenudos/publicacoes-greca/livro\\_estudo-comparativo-do-desempenho-de-um-recapeamento-utilizando-asfalto-borracha-2014.pdf](https://www.grecaasfaltos.com.br/wp-content/contenudos/publicacoes-greca/livro_estudo-comparativo-do-desempenho-de-um-recapeamento-utilizando-asfalto-borracha-2014.pdf)

**Redação pensamento verde**, 28/02/2018, Disponível em: <https://www.pensamentoverde.com.br/meio-ambiente/as-principais-consequencias-do-descarte-de-pneus-no-meio-ambiente/>

**Rolos compactadores**, 07/10/2019, Disponível em: <https://armac.com.br/blog/maquina/rolos-compactadores/rolo-compactador-saiba-mais-sobre-suas-funcoes-e-como-ele-e-fundamental-para-obra-da-sua-empresa/>

**Státer Pavimentação**, Pavimentação Asfáltica, Disponível em: <https://www.estaterpavimentacao.com.br/entendendo---pavimenta--o-asf-Itica>

**Texaco, reciclagem de pneus**, 24/11/2021, Disponível em: <https://blog.texaco.com.br/ursa/reciclagem-de-pneus/>

**Vibroacabadoras para os mercados brasileiro e hispano-americano**, Disponível em:

<http://www.minutoengenharia.com.br/postagens/2014/03/28/vibroacabadoras-para-os-mercados-brasileiro-e-hispanoamericano/>

**Viviane Souza de Almeida, Aline Cristina Costa Gomes**, Rev.Episteme Transversalis, Volta Redonda-RJ, jan./jun.2018, O ASFALTO CONVENCIONAL E O ASFALTO DE BORRACHA: Um Estudo Comparativo, Disponível em: <http://revista.ugb.edu.br/ojs302/index.php/episteme/article/view/884/799>



## RELATÓRIO DE VERIFICAÇÃO DE PLÁGIO

**DISCENTE:** Richer Ruan Rondover

**CURSO:** Engenharia Civil

**DATA DE ANÁLISE:** 12.12.2022

### RESULTADO DA ANÁLISE

#### Estatísticas

Suspeitas na Internet: **7,48%**

Percentual do texto com expressões localizadas na internet [△](#)

Suspeitas confirmadas: **7,48%**

Confirmada existência dos trechos suspeitos nos endereços encontrados [△](#)

Texto analisado: **90,82%**

*Percentual do texto efetivamente analisado (frases curtas, caracteres especiais, texto quebrado não são analisados).*

Sucesso da análise: **100%**

*Percentual das pesquisas com sucesso, indica a qualidade da análise, quanto maior, melhor.*

Analisado por Plagius - Detector de Plágio 2.8.5 segunda-feira, 12 de dezembro de 2022 12:50

### PARECER FINAL

Declaro para devidos fins, que o trabalho do discente **RICHER RUAN RONDOVER**, n. de matrícula **33438**, do curso de Engenharia Civil, foi aprovado na verificação de plágio, com porcentagem conferida em 7,48%. Devendo o aluno fazer as correções necessárias.

(assinado eletronicamente)

**HERTA MARIA DE AÇUCENA DO N. SOEIRO Bibliotecária CRB 1114/11**

Biblioteca Central Júlio Bordignon

Centro Universitário FAEMA – UNIFAEMA