

CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIFACVEST  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL  
ELIEZER ARGEMIRO VIEIRA BISCAIA

**A REUTILIZAÇÃO DE PNEUS INSERVÍVEIS NA PAVIMENTAÇÃO  
ASFÁLTICA**

LAGES

2021

ELIEZER ARGEMIRO VIEIRA BISCAIA

**A REUTILIZAÇÃO DE PNEUS INSERVÍVEIS NA PAVIMENTAÇÃO  
ASFÁLTICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro Universitário UNIFACVEST como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Prof. Msc. Aldori Batista dos Anjos

LAGES

2021

ELIEZER ARGEMIRO VIEIRA BISCAIA

## **A REUTILIZAÇÃO DE PNEUS INSERVÍVEIS NA PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação  
apresentado ao Centro Universitário UNIFACVEST  
como parte dos requisitos para a obtenção do grau de  
Bacharel em Engenharia Civil.

Prof. Msc. Aldori Batista dos Anjos

Lages, SC \_\_\_\_/\_\_\_\_/2021. Nota \_\_\_\_ \_\_\_\_\_

Professor Orientador: Aldori Batista dos Anjos

---

Coordenador do curso de Engenharia Civil

Aldori Batista dos Anjos

LAGES

2021

“Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades, lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram conquistadas do que parecia impossível.” Charles Chaplin”

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus, por estar sempre ao meu lado me guiando, e me dando sabedoria para prosseguir nesta longa caminhada.

Aos meus pais Valfrido e Sirlei, por todo o apoio, amor, dedicação e atenção que transmitem.

À minha esposa pelo incentivo e o apoio incondicional.

A toda minha família, que de alguma forma sempre ajudaram.

Ao meu Orientador, Prof. Aldori Batista dos Anjos, pelo apoio, compreensão, paciência e dedicação para a conclusão deste trabalho.

Aos estimados Professores do Curso de Engenharia Civil da Unifacvest, agradeço a vocês mestres por todo o ensinamento prestado durante toda essa jornada acadêmica.

Aos colegas de classe, em especial aos amigos Guilherme, João, Jeremias e Mauro por cada trabalho elaborado juntos e a cada informação compartilhada durante a jornada.

E agradeço, também, a todos aqueles que, de alguma forma, fizeram-se presentes nesta etapa de minha vida, para que a realização de mais este sonho se concretizasse.

# A REUTILIZAÇÃO DE PNEUS INSERVÍVEIS NA PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA

Eliezer Argemiro Vieira Biscaia<sup>1</sup>

Aldori Batista dos Anjos<sup>2</sup>

## RESUMO

Trata-se do Trabalho de Conclusão de Curso sobre a reutilização de pneus na pavimentação asfáltica e salientar as vantagens e benefícios de sua utilização, a sua viabilidade para execução e etc. No Brasil a maioria das rodovias são de baixo conforto de rolamento e com alto custo de manutenção anual, algo entorno de 2 bilhões de reais. Tendo em vista esses fatores, o presente trabalho busca através de pesquisas bibliográficas encontrar soluções que possam proporcionar melhorias nas rodovias, trazer segurança e inovação como também poder causar impactos positivos econômico e principalmente ambientais, apesar de já serem utilizados esses métodos em outros países. O estudo evidenciou que milhares de pneus inutilizados são descartados no planeta, causando um impacto extremamente negativo no meio ambiente, por se tratar de um polímero e sua decomposição ser lenta. Entretanto seu reaproveitamento na pavimentação busca melhorias na estrutura. Chega-se a conclusão que apesar desta técnica ter elevado custo de implantação em relação ao asfalto convencional sendo empecilho para expansão desta, o asfalto-borracha apresenta maior resistência, menor custo de manutenção, maior conforto e segurança se tornando equivalente e até mesmo superior pelo importante fato de contribuir com a sustentabilidade do planeta. É considerado promissor o uso deste método, cabe ao governo adotar medidas, técnicas para um maior investimento e criar políticas públicas para expandir o uso onde seus benefícios são inúmeros.

**Palavras chave:** Asfalto-Borracha. Engenharia Civil. Pavimentação Asfáltica. Rodovias. Melhorias.

---

<sup>1</sup> Acadêmico da 10ª fase de Engenharia Civil do centro universitário UNIFACVEST.

E-mail: eliezerbiscaia@hotmail.com

<sup>2</sup> Engenheiro Ambiental e Sanitarista, Msc. em Engenharia Ambiental e Sanitária, coordenador e professor do curso de Engenharia Civil do centro universitário UNIFACVEST.

E-mail: prof.aldori.anjos@unifacvest.edu.br

# THE REUSE OF UNSERVICEABLE TIRES IN ASPHALT PAVING TRANSLATION

Eliezer Argemiro Vieira Biscaia<sup>3</sup>

Aldori Batista dos Anjos<sup>4</sup>

## ABSTRACT

This is the Course Conclusion Work on the Reuse of Tires in Asphalt Paving and to highlight the advantages and benefits of its use, its feasibility for execution and so on. In Brazil, most of the highways have low rolling comfort and high annual maintenance cost, around 2 billion reais, In view of these factors, the present work seeks to demonstrate through bibliographic researches to find solutions that can provide improvements on the highways, bring safety and innovation as well as being able to cause economic and mainly environmental improvements, although these methods are already used in other countries. The study showed that millions of unused tires are discarded on the planet, causing an extremely negative impact on the environment, as it is a polymer and its decomposition is slow. However, its reuse in paving seeks improvements in the structure. It is concluded that although this technique has a high cost of implantation in relation to conventional asphalt, being an obstacle for its expansion, however, rubber asphalt presents greater resistance, lower maintenance cost, greater comfort and safety, becoming equivalent and even superior due to important fact of contributing to the sustainability of the planet. The use of this method is considered promising, it is up to the government to adopt measures, techniques for greater investment and create public policies to expand the use where its benefits are numerous.

**Keywords:** Rubber Asphalt. Civil Engineering. Asphalt Paving. Highways. Improvements.

---

<sup>3</sup> Acadêmico da 10ª fase de Engenharia Civil do centro universitário UNIFACVEST.

E-mail: eliezerbiscaia@hotmail.com

<sup>4</sup> Engenheiro Ambiental e Sanitarista, Msc. em Engenharia Ambiental e Sanitária, coordenador e professor do curso de Engenharia Civil do centro universitário UNIFACVEST.

Email: prof.aldori.anjos@unifacvest.edu.br

## **TERMO DE ISENÇÃO DE RESPONSABILIDADE**

Declaro, para todos os fins de direito, que assumo total responsabilidade pelo aporte ideológico conferido ao presente trabalho, isentando o Centro Universitário UNIFACVEST, a coordenação do curso de Engenharia Civil, o orientador do trabalho e demais membros da banca examinadora de toda e qualquer responsabilidade acerca do mesmo.

Lages, junho de 2021.

---

**ELIEZER ARGEMIRO VIEIRA BISCAIA**

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	13
<b>2 JUSTIFICATIVA</b> .....	15
<b>3 PROBLEMATIZAÇÃO</b> .....	16
<b>4 OBJETIVOS</b> .....	16
<b>4.1 Objetivo geral</b> .....	16
<b>4.2 Objetivos específicos</b> .....	16
<b>5 METODOLOGIA</b> .....	16
<b>6 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	17
<b>6.1 Pavimentos</b> .....	17
<b>6.2 Pavimentação asfáltica</b> .....	18
<b>7 PRINCÍPIOS DA UTILIZAÇÃO DE BORRACHA PARA PAVIMENTAÇÃO</b> .....	20
<b>7.1 Breve histórico do asfalto-borracha</b> .....	20
<b>7.2 Meio ambiente</b> .....	21
<b>8 A INSERÇÃO DO LIGANTE ASFÁLTICO NA PAVIMENTAÇÃO</b> .....	23
<b>8.1 Processos de utilização</b> .....	24
8.1.1 Processo de Via Seca .....	25
8.1.2 Processo de Via Úmida .....	25
<b>9 VANTAGENS E DESVANTAGENS</b> .....	27
<b>9.1 Vantagens</b> .....	27
<b>9.2 Desvantagens</b> .....	28
<b>10 VIABILIDADE FINANCEIRA DE PROJETOS COM UTILIZAÇÃO DO ASFALTO-BORRACHA EM RELAÇÃO AO ASFALTO CONVENCIONAL</b> .....	29
<b>11 CONCLUSÃO</b> .....	31
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	32

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Tipos de camadas dos pavimentos.....	18
Figura 2- Asfalto deteriorado por trincas e rachaduras.....	19
Figura 3- Trecho confeccionado com asfalto-borracha em Las Vegas.....	20
Figura 4- Descarte de pneus natureza .....	23
Figura 5- Processos de produção do asfalto-borracha .....	26

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1- Contagem de pneus inservíveis utilizados para pavimentação.....	22
Gráfico 2- Custo de execução Asfalto-Borracha e Convencional.....	30
Gráfico 3- Custo de Manutenção Asfalto-Borracha e Convencional .....	30

## **LISTA DE SIGLAS**

CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente

CAP- Cimento asfáltico de petróleo

NBR- Norma Brasileira

ISTEA - Intermodal Surface Transportation Efficiency Act

PMB- Pneu modificado com borracha

CBUQ – Cimento betuminoso usinado a quente

## 1 INTRODUÇÃO

A presente monografia apresenta como objetivo institucional, cumprir requisitos para a conclusão do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário UNIFACVEST.

Esta pesquisa visa apresentar as características da reutilização de pneus velhos como materiais para pavimentação asfáltica fazendo um aproveitamento correto e ecológico.

Nos dias atuais milhares ou quase inumerável quantidade de pneus são descartados em aterros sanitários, terrenos baldios, e até mesmo ficam guardados em residências de forma inadequada sem nenhuma utilização.

Entretanto, a inutilidade destes pneus pode acarretar em sérios problemas ambientais trazendo sérios danos e afetando até mesmo a saúde e economia das cidades, estados e países.

Em face disto, diversas alternativas de destinação adequada de pneus inservíveis têm sido estudadas, além de serem obrigatórias no Brasil, segundo as Resoluções do Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA (Resoluções nº 23, 235, 258 e 416) e a Lei Federal nº 12.305 (BRASIL, 2010a e 2010b).

Podendo se tornar uma maneira de minimizar esses problemas que já vem de décadas, nos Estados Unidos decidiram desenvolver um método de utilização da borracha na composição da base asfáltica conhecida como “Asfalto-Borracha”, porém o alto custo de produção tornou inviável a utilização em larga escala.

A crescente demanda nas rodovias brasileiras por um melhor asfalto, aliada a necessidade de se inovar para ser sustentável, faz-se necessário cada vez mais buscar soluções para reduzir os problemas ambientais e aumentar a vida útil do pavimento, que podem ser solucionados com qualidade de construção e implementação de materiais descartáveis e inutilizáveis.

A reutilização de pneus tem sido uma das áreas mais estudadas e que vem chamando muita atenção por se tratar de uma forma inovadora para a engenharia como também uma solução para um problema ambiental que pode gerar também impactos na economia.

O asfalto-borracha que é empregado na pavimentação asfáltica, é um asfalto modificado por borracha moída de pneus. O uso de borracha moída de pneus no asfalto melhora em muito as propriedades e o desempenho do revestimento asfáltico.

Pesquisas vêm apresentando os benefícios da incorporação de insumos de borracha provenientes da reciclagem de pneus em ligantes asfálticos, visando uma melhor adequação as atuais necessidades, tais como: maior durabilidade, resistência, qualidade e redução de custos

(MARTINS, 2004), além de apresentar a vantagem de ser mais macio, dando conforto aos motoristas e usuários além do baixo nível de ruído.

Portanto, este trabalho tem como objetivo destacar a reutilização de pneus inservíveis na produção da massa asfáltica, método que traz melhor aderência e flexibilidade ao polímero ligante, e tentar fazer com que este método ganhe mais a atenção no Brasil, acarretando assim até mesmo em uma vitrine para instalação de novas empresas da área, geração de mais empregos como também a melhoria e conforto nas estradas para a população brasileira.

## 2 JUSTIFICATIVA

O pneu tem papel indispensável e imprescindível na vida diária, seja no transporte de cargas ou de passageiros. Contudo, quando não se pode mais utilizá-los, se acarretam uma de problemas sanitários e ambientais. Uma forma de correção destes problemas é a incorporação de borracha advinda de pneus em revestimentos asfálticos, prática está já empregada nos Estados Unidos desde 1970, e em 1999 incorporada no Brasil.

A utilização como material ligante asfalto-borracha, seja natural ou sintético em carros e caminhões, pode ocasionar vantagem na pavimentação asfáltica devido ao impacto positivo no meio ambiente, pois o processo de modificação da borracha é altamente controlado e teor de suas partículas varia de 15% a 20% em relação ao peso da mistura, diluentes e alguns aditivos. As misturas com asfalto-borracha apresentam um desempenho muito superior às misturas comuns, reduzindo em 50% na espessura das camadas betuminosas de asfalto. De uma maneira geral pode-se concluir que a utilização da adição de borracha de pneus em ligantes asfálticos aplicados em obras de pavimentação no Brasil se mostra como uma técnica promissora para aumentar a durabilidade das estradas e ruas.

O fato de o ligante possuir borracha, o faz mais elástico, assim sendo o pavimento apresenta uma flexibilidade maior, pronto para suportar amplas variações de temperatura e tráfego pesado sem as conhecidas fissuras, assim demonstra ter uma fadiga menor e uma maior resistência às deformações das trilhas dos pneus. Com o asfalto-borracha obtemos uma diminuição do envelhecimento por oxidação, aumento da flexibilidade e da vida útil, maior e melhor aderência do pneu ao pavimento entre outros.

### **3 PROBLEMATIZAÇÃO**

Diante da necessidade de pavimentos de melhor qualidade e dos grandes problemas ambientais existentes, fica evidente a grande importância de se encontrar soluções para estes quesitos. A reutilização de pneus inservíveis na pavimentação asfáltica pode sanar se não completamente, mas grande parte destes problemas. O método apresenta propriedades que atendem na melhoria da pavimentação como também trás benefícios valiosos ao meio ambiente. Com isso visa-se responder o seguinte questionamento: Por que a utilização de pneus inservíveis na pavimentação asfáltica se torna mais sustentável do que método convencional?

### **4 OBJETIVOS**

Os objetivos que compõem o presente trabalho foram divididos como Objetivo Geral e Objetivo específico, ambos nos itens 4.1 e 4.2

#### **4.1 Objetivo geral**

O presente trabalho tem como objetivo aprofundar o conhecimento, compreender, analisar os benefícios do asfalto-borracha em relação a manutenção, viabilidade, flexibilidade, segurança como também suas propriedades para substituição do cimento asfáltico de petróleo (CAP) pelo asfalto-borracha em pavimentos rodoviários.

#### **4.2 Objetivos específicos**

- Histórico da pavimentação;
- Evidenciar a história, as características e os métodos de execução do Asfalto-Borracha comparados ao Asfalto Convencional;
- Abordar as vantagens e desvantagens existentes no Asfalto-Borracha;
- Explanar sobre a viabilidade econômica de execução e manutenção;

### **5 METODOLOGIA**

Para realização deste trabalho, fez-se necessário um aprofundamento bibliográfico com pesquisas em monografias, normas técnicas, livros, artigos além da troca de ideias com conhecedores do assunto, para que fosse possível obter resultados satisfatórios sobre a

utilização de pneus inservíveis na pavimentação asfáltica e todos os elementos que compõem o assunto.

## 6 REFERENCIAL TEÓRICO

### 6.1 Pavimentos

Pavimento é uma estrutura de múltiplas camadas de espessuras finitas, construída sobre a superfície final de terraplenagem, destinada técnica e economicamente a resistir aos esforços oriundos do tráfego de veículos e do clima, como também propiciar aos usuários melhoria nas condições de rolamento, com conforto, economia e segurança (Bernucci *et. al.* 2010).

A pavimentação tem como objetivo trazer conforto e segurança isto se realizado com materiais que suportem o tráfego e garantam um bom desempenho (BALBO, 2011).

Esta qualidade de rolamento está totalmente ligada a diversos fatores que influenciam diretamente a durabilidade das camadas que sofrem grandes intempéries de acordo com a intensidade de tráfego, condições climáticas e até mesmo questões estruturais.

Segundo a NBR 7207 (1992), as principais funções de um pavimento são:

- Resistir ao subleito esforços verticais provenientes do tráfego;
- Melhorar as condições de rolamento quanto a comodidade e segurança;
- Resistir aos esforços horizontais, tornando-o mais durável possível à superfície de rolamento

Existem três classes de pavimentos: Rígido, semi-rígido também conhecido como semi-flexível, e o flexível.

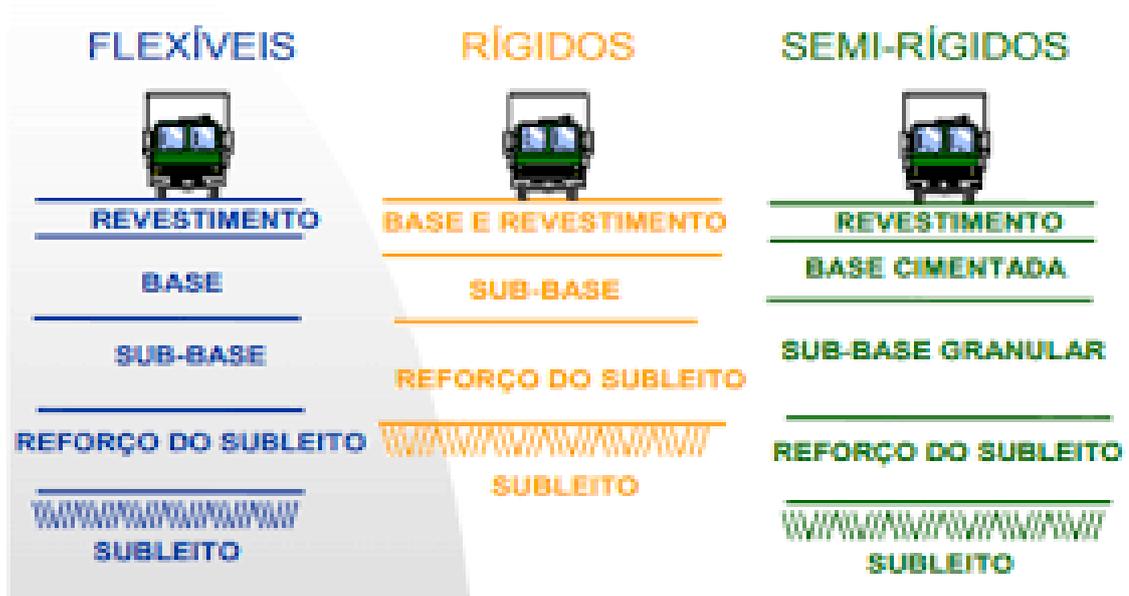
Segundo Senço (2001) os pavimentos rígidos são compostos principalmente por concreto de cimento Portland, e por esta característica sofre poucas deformações. Já os semi-rígidos ou semi-flexíveis são aqueles considerados um intermédio entre o rígido e o flexível e apresentam uma considerável resistência a tração. Suas camadas de base ou sub-base são constituídas de solo e cimento, solo e betume, solo e cal entre outras possíveis que possam apresentar maior resistência a tração.

E por fim o pavimento flexível que é composto maior parte por materiais betuminosos e até certo limite sofre deformações que não levam ao rompimento. Pode ser constituído por diversas camadas como subleito, reforço do subleito, base, sub-base e revestimentos.

Para Medina (1997) pavimento flexível é aquele constituído por um revestimento betuminoso sobre a base granular ou de solo estabilizado granulometricamente.

A qualidade dos pavimentos é bastante influenciada pelo tipo de revestimento e materiais utilizados. A busca de novas alternativas para a construção civil é imperativa, dada à escassez de materiais naturais e ao aumento de custos dos materiais de construção (LASTRAN, 1998). A Figura 1 exemplifica tipos de camadas dos pavimentos.

Figura 1- Tipos de camadas dos pavimentos



Fonte: [www.der.pr.gov.br](http://www.der.pr.gov.br)- acesso em 13 de junho de 2021

## 6.2 Pavimentação asfáltica

Dentro do ramo da pavimentação há a pavimentação asfáltica ao qual é feita com material derivado da destilação do petróleo e que podem ser encontrados em jazidas naturais. Porém, o mais utilizado é o que deriva de petróleo, sendo o mesmo de consistência pegajosa e de cor preta.

O asfalto como começou a ser utilizado na pavimentação por volta de 1909 no Oriente Médio, após ter sido utilizado também como um impermeabilizante. Já no Brasil chegou em 1928, quando foi pavimentado a rodovia Rio-Petrópolis durante o governo de Washington Luis.

Segundo Pinto et. al. (2002), o pavimento rodoviário é uma estrutura constituída por uma ou diversas camadas com características para receber as cargas aplicadas na superfície sendo distribuídas de modo que as tensões resultantes fiquem abaixo das tensões admissíveis dos materiais que constituem a estrutura.

A utilização de asfalto tornou-se fundamental em todo o mundo pelos benefícios e progressos em diversos setores, podendo destacar principalmente o de transporte que teve um grande impacto, tendo em vista que as estradas de terra ou areia em grande escala eram inutilizadas em dias de chuva impedindo a progressão dos meios de transporte.

De acordo com Rodrigues (2005), o transporte é uma variável fundamental para as questões de logística sendo possível através do transporte acontecer as atividades em todos os setores tendo grande impacto na economia a nível mundial. Outro fator importante é que o setor de transportes é acarretado de um custo operacional elevadíssimo de manutenção, custo de frete entre outras despesas tornando de grande importância um projeto bem elaborado que proporcione boas condições de infraestrutura e boa rolagem em todo o país.

Para Ramalho (2009), o modal rodoviário faz frente ao desenvolvimento econômico e social do país, pois através do mesmo é possível que produtos e passageiros tenham acesso aos principais pontos de coletas e distribuições fazendo assim a integração entre portos, aeroportos, ferrovias e hidrovias.

Porém, como o ditado popular “Nem tudo são flores”, o asfalto como pavimentação apresenta diversos problemas, principalmente em regiões tropicais como no Brasil ao qual sofre grandes intemperismo devido ao clima, ocasionando em trincas, rachaduras e em alguns casos, total desintegração. Nestes casos tornando a manutenção necessária em curtos períodos e de altíssimos custos. A figura 2 apresenta um exemplo de asfalto deteriorado pelas trincas e rachaduras.

Figura 2- Asfalto deteriorado por trincas e rachaduras



Fonte: <http://asfaltodequalidade.blogspot.com.br> – acesso em 13 de junho de 2021

Tendo em vista todos estes fatores é que entra a utilização do Asfalto-Borracha, como uma forma de potencializar o transporte rodoviário oferecendo qualidade e solucionando diversas barreiras que impedem melhores condições ao setor.

## 7 PRINCÍPIOS DA UTILIZAÇÃO DE BORRACHA PARA PAVIMENTAÇÃO

### 7.1 Breve histórico do asfalto-borracha

A necessidade por soluções para melhorar a qualidade, aumentar a longevidade e diminuir os custos faz com que a utilização de polímeros na pavimentação asfáltica se torne cada vez mais empregada, pois se trata de uma alternativa eficaz para o transporte viário, ocasionando na redução de custos e de manutenção, como também ajuda a sanar os problemas ambientais existentes.

A iniciativa dos estudos aconteceu em uma empresa americana, Companhia de Reciclagem de Borracha, U.S. Ruber Reclaiming Company que desenvolveu um produto a base de asfalto-borracha e foi denominado como Ramflex™ (WICKBOLDT, 2005)..

Após reconhecer a eficácia do método, o ISTEA (Intermodal Surface Transportation Efficiency Act-EUA) decretou que as pavimentações asfálticas do Estados Unidos deveriam ser através da reutilização de pneus inservíveis como na figura 3, acarretando em melhorias e solucionando problemas ambientais.

Figura 3- Trecho confeccionado com asfalto-borracha em Las Vegas



Fonte: <http://asfaltoborracha.com.br> – acesso em 14 de junho de 2021

Conhecido como principiante, ou para alguns como o pai do asfalto-borracha, Charles H. MacDonald desenvolveu no ano de 1963 um material altamente elástico que seria utilizado na manutenção de rodovias americanas. O produto era composto de ligante asfáltico e de 25% de borracha moída de pneus (de 0,6 a 1,2mm), misturados a uma temperatura de 190C°

durante 20 minutos que seriam utilizados para remendos popularmente conhecidos como “Band-Daid” (WICKBOLDT, 2005).

De acordo com a história, Charles MacDonald inspecionava rodovias em um trailer quando fez uso do pó de pneu com asfalto para selar algumas trincas existentes no teto do veículo. Com o passar do tempo pode observar que o uso do material misturado não apresentou oxidações, ao contrário do material utilizado no asfalto convencional. A partir de então passou a usar a mistura em operações tapa-buracos.

Em 1963, começaram a publicar os primeiros artigos científicos apontando para as qualidades do novo material que surgia (SPECHT, 2004).

Em 1999 deu-se início os estudos sobre o asfalto modificado por borracha (AMB) no Brasil. O principal objetivo era potencializar e aprimorar o asfalto comum.

Foi então no ano de 2001 que esta forma de pavimentação de borracha aconteceu na rodovia BR 116 no Rio Grande do Sul, trecho Guaíba-Camaquã, se tornando então pioneira no país, ainda que com uma aplicação reduzida devido ao baixo investimento.

De acordo com Di Giulio (2007) no Brasil, o uso da borracha em pavimentação asfáltica foi aprovado em 1999 por Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA nº 258, de agosto de 1999).

O custo de execução ainda é elevado em comparação ao método convencional, porém o custo benefício se comparado às propriedades que o asfalto-borracha tem o tornam equivalente por trazer durabilidade, resistência, baixo índice de manutenção, flexibilidade, maior segurança e conforto de rolagem, fazendo com que se torne essencial, e em longo prazo muito mais econômico. Se a manutenção diminui os gastos também, isso sem contar os benefícios ao meio ambiente.

## **7.2 Meio ambiente**

O CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) proibiu através da resolução nº258/9 de 26 de agosto de 1999, que as empresas fabricantes de pneus descartassem de forma desordenada os pneus inservíveis no meio ambiente.

No Brasil estima-se que já passa de 200 milhões de pneus reciclados uma média de 20 milhões por ano, e nas últimas décadas a necessidade de reutilização dos mesmos vem aumentando bastante.

O descarte de pneus é um grande problema ambiental por se tratar de um polímero e pelo longo tempo para se degradar, o que leva à poluição do solo e das áreas onde estão

descartados. Quando os pneus são expostos ao sol e à chuva, seus líquidos e gases começam a se decompor, poluindo todo o ecossistema e a atmosfera.

Resíduos de pneus podem ser um grande perigo para a saúde porque são fonte de doenças como dengue, malária e febre amarela. Os pneus acumulam água e sujeira, além de poluir o solo, podendo causar intoxicações e infecções aos seres humanos como também aos animais. Mesmo eliminando os resíduos químicos que compõem os pneus, podem afetar os animais que se alimentam de recursos naturais contaminados. A tabela 1 mostra números aproximados da reutilização de pneus até o ano de 2013.

Gráfico 1- Contagem de pneus inservíveis utilizados para pavimentação



Fonte: Greca Asfaltos (2013)

De acordo Reis et al. (1997), utilizar pneus inservíveis nos processos de reciclagem, abriu um amplo leque de soluções criativas, tais estas, modalidades industriais e artesanais, como objetivo, de transformar um resíduo sólido imprestável em novos produtos utilizáveis, trazendo com isso uma aprendizagem dentro da sociedade de que refugo para uns, pode ser matéria-prima para outros.

Specht<sup>2</sup> (2004, Apud GARDIN et. al. 2010) aponta que a pavimentação possui um grande potencial de utilização, devido a dois fatores: utilizar um grande volume de pneus inservíveis como também melhora as características dos ligantes asfálticos e do concreto

asfáltico com a adição do farelo de pneu, e ainda ressalta que o asfalto ecológico é 12% superior ao convencional, o que pode parecer uma desvantagem inicial.

Portanto, é nítido que a reutilização de pneus na pavimentação traz uma grande escala de êxitos, tanto para a construção civil como principalmente para o meio ambiente.

Figura 4- Descarte de pneus natureza



Fonte: [www.portalnorte.com.br](http://www.portalnorte.com.br)- acesso em 14 de junho de 2021

## **8 A INSERÇÃO DO LIGANTE ASFÁLTICO NA PAVIMENTAÇÃO**

A demanda por asfalto de alta qualidade pode ser determinada por diversos fatores. Isso inclui os efeitos do uso, do tipo de estrutura e até mesmo as condições climáticas.

Todos esses fatores têm um impacto econômico significativo a cada ano, que envolve o custo da manutenção necessária. Como o índice de acidentes causados por más condições das estradas no Brasil continua aumentando, a falta dessa manutenção torna-se cada vez mais grave.

Para solucionar esses problemas surgiu o "Asfalto-Borracha", que foi desenvolvido para trazer essas melhorias e soluções ao manuseio incorreto de milhares de pneus.

Devido às propriedades dos polímeros e antioxidantes presentes na borracha, adicionar borracha de pneu ao aglutinante de asfalto é uma escolha sábia e eficaz.

Oda (2000) descreve a aplicação de ligantes de asfalto-borracha em uma variedade de serviços de pavimentação, como vedação de trincas, tratamentos superficiais, camadas intermediárias entre pavimentos reforçados existentes e em camadas de concreto asfáltico termicamente processado.

De acordo com Benucci et al. (2007) os polímeros do grego “muitas partes” são macromoléculas sintéticas com estruturas simples, consistindo em unidades estruturais repetidas (chamadas monômeros e homopolímeros) em suas cadeias largas, e seu comportamento depende do material e do tipo de reação. Quando usados na preparação, nem todos os polímeros devem ser usados em misturas asfálticas.

A quantidade de polímeros para composição de asfalto baseia-se em propriedades físicas desejadas considerando a adequada dispersão do polímero CAP. As misturas asfálticas são normalmente confeccionadas a partir da incorporação de borracha triturada de pneus inservíveis ao Cimento Asfáltico de Petróleo sendo submetida a aquecimento ou não, podendo também ser usado como aditivo depois do processo de extrusão.

De acordo com J.A.Pereira, para que a mistura asfáltica seja viável e econômica é necessário que se misture corretamente os ligantes, devendo manter suas propriedades intactas, melhor fluidez e altas temperaturas, sem que o ligante fique muito viscoso para misturas e espalhamento, nem tão rígido e quebradiço a baixas temperaturas.

### **8.1 Processos de utilização**

Os processos de inserção da borracha no pavimento podem ser feitos de duas maneiras, de via seca ou úmida, se adequando e incorporando um asfalto com maior viscosidade, durabilidade, elasticidade, ou seja, propriedades muito superiores as convencionais.

Segundo Specht (2004), além das duas formas, pode ser feita de um terceiro método que denominou de “Via Mista”, ao qual tem um processo semelhante ao de via seca, porém com o uso do ligante modificado com borracha. A melhor interação entre os ligantes modificados e os grânulos de borracha leva a concretos asfálticos de boa qualidade e com um grande consumo de borracha, o que torna o processo misto bastante atrativo do ponto de vista ambiental.

De acordo com Neves Filho (2004), a modificação dos ligantes asfálticos utilizados na pavimentação, isto ancorado a adição da borracha de pneus, se torna uma alternativa atraente e eficaz para o melhoramento dos materiais betuminosos, tendo em vista que o resultado final

é um revestimento com características técnicas superiores as verificadas do asfalto convencional.

### **8.1.1 Processo de Via Seca**

No processo de via seca a borracha é empregada como um agregado na mistura, imediatamente triturada e colocada em contato com os demais agregados antes da adição ao asfalto, neste caso os grânulos representam de 0,5 a 3% da massa do agregado. A técnica de produção de mistura do processo é semelhante ao usado na produção de concreto asfáltico a quente convencional, com menor custo em relação ao processo úmido.

Embora seja prejudicada boa parte das propriedades da borracha com este método, ele traz melhorias significantes à mistura, desde que sua mistura tenha um aspecto homogêneo, pois assim tenha maior resistência e não venha se deteriorar.

Apesar de algumas evidências que a mistura de borracha como agregado tem suas propriedades melhoradas, ainda é realizado estudos com maior dimensão, pois mesmo com maior quantidade de borracha na composição, a propriedade da borracha não é muito explorada, pelo fato de serem diretamente inseridas na mistura.

### **8.1.2 Processo de Via Úmida**

No processo de via úmida ao contrário ao de via seca, a borracha moída é adicionada ao CAP aquecido, contendo cerca de 5 a 25% do peso total do ligante, por último é acionado os agregados, produzindo o pavimento modificado com borracha de pneus (PMB). As partículas sofrem variações de sua propriedade e componentes dependendo do grau de modificação tais como tamanho da borracha, propriedade do cimento asfáltico, temperaturas, reações durante a mistura.

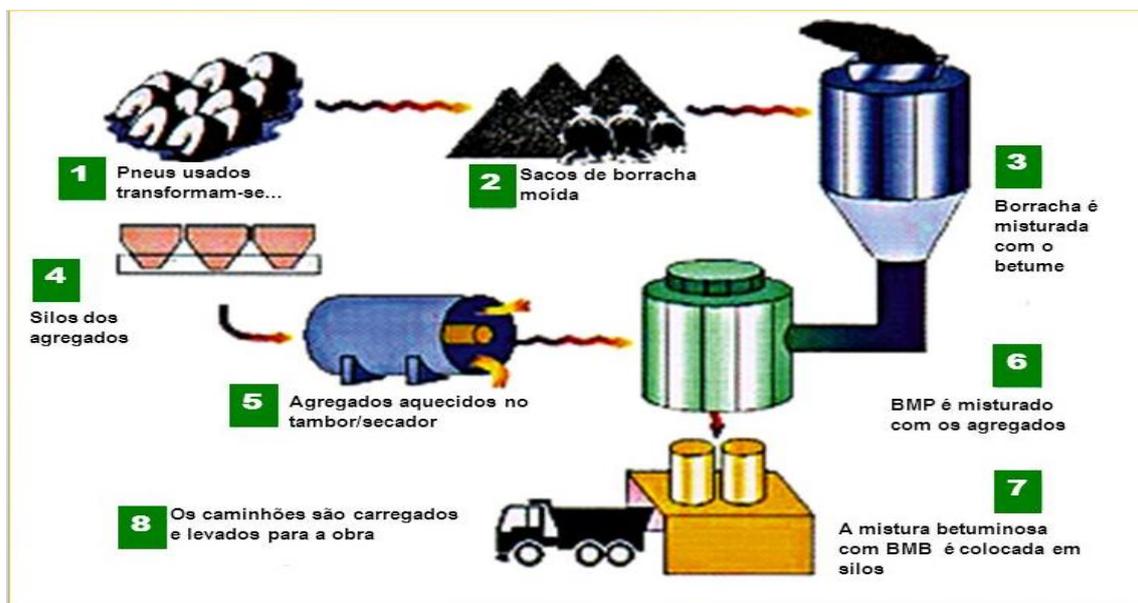
Nesta modalidade a transferência das propriedades da borracha são mais efetivas, trazendo as principais características da borracha de forma evidente com a elasticidade e resistência ao envelhecimento e deterioração do ligante asfáltico.

Deve ser mencionado o problema de compatibilidade do polímero modificador, ou seja, a borracha moída de pneu e o ligante tradicional. Segundo Wickboldt (2005), o ligante tradicional precisa ser compatibilizado para receber a borracha moída de pneu. A característica ou estabilidade de um ligante modificado requer que, o asfalto base utilizado como matéria-prima e possua uma relação asfaltenos/aromáticos dentro de uma determinada faixa. Se o ligante base não possuir esta compatibilidade com a borracha moída de pneu, ele

deve ser preparado por meio de adição de insumos especiais, para somente depois receber a borracha moída de pneu.

De acordo com Bertollo et al. (2003) e Morilha (2004): O ligante modificado por borracha moída de pneus por via úmida, dependendo do seu processo de fabricação, pode ser não estocável e é produzido com equipamento misturador na própria obra. O sistema estocável é preparado com borracha, produzindo um ligante estável e relativamente homogêneo, posteriormente transportado para cada obra. Podem ser empregados em pavimentação como tratamentos superficiais, concreto asfáltico e selagem de trincas. A figura 5 ilustra os processos de produção do asfalto-borracha.

Figura 5- Processos de produção do asfalto-borracha



Fonte: <http://www.sinicesp.org.br/materias/2013/bt08a.htm>

A produção do asfalto-borracha pode também ser realizada e transportada para a usina de asfalto, na qual será realizada a mistura com os agregados. Essa tecnologia é denominada terminal blend. A borracha reciclada de pneus é adicionada em pó a um reator de mistura, no qual a digestão da borracha é praticamente concluída. Após o asfalto-borracha estará em condições de ser transportado para a usina de asfalto e aplicado. O processo terminal blend foi usado no estado do Texas–Estados Unidos em 1989.

O processo terminal blend leva à produção de asfalto-borracha estocável ou semiestocável. Neste processo, são necessários equipamentos específicos e adaptações para

atender às particularidades do produto, principalmente nas atividades de transporte e estocagem do ligante na usina de asfalto.

Portanto, o método mais utilizado é o de via úmida tendo em vista o fato de que é possível extrair em maior escala as principais propriedades da borracha, obtendo assim maior êxito nas melhorias que se pode obter.

## **9 VANTAGENS E DESVANTAGENS**

A adição de pó de borracha de pneus ao ligante asfáltico vem se tornando uma revolução altamente sustentável após apresentar grandes vantagens no âmbito de melhorar a rolagem, segurança, diminuição de gastos com manutenção e consequentemente fazendo um bem ao meio ambiente. Como em todas as áreas, o asfalto-borracha apresenta também as suas desvantagens ao qual será evidenciado a seguir.

### **9.1 Vantagens**

Segundo Rodrigues (2005), o ligante modificado por borracha de pneu, ou asfalto-borracha, apresenta as seguintes características e vantagens:

- Redução da sensibilidade térmica: misturas com ligantes de asfalto-borracha são mais resistentes às variações de temperatura, e o seu desempenho tanto a altas como a baixas temperaturas é melhor quando comparado com pavimentos construídos com ligante convencional;
- Aumento de flexibilidade, devido a maior concentração de elastômeros na borracha de pneus;
- Melhor adesividade aos agregados;
- Aumento da vida útil do pavimento;
- Maior resistência ao envelhecimento: a presença de antioxidantes e carbono na borracha de pneus auxiliam na redução do envelhecimento por oxidação;
- Maior resistência à propagação de trincas e a formação de trilhas de roda;
- Permite a redução de espessura do pavimento;
- Proporciona melhor aderência pneu-pavimento;
- Redução do ruído provocado pelo tráfego entre 65 e 85%.

A utilização da borracha de pneu moído nas misturas asfálticas se torna uma grande alternativa para sanar problemas ambientais (GONÇALVES, 2002).

O surgimento de fissuras que é um dos principais problemas diminuiu em grande escala. Pavimentos construídos com asfalto-borracha podem ser até 4 vezes menores que as fissuras de calçadas tradicionais (FAXINA, 2002).

Conforme Martins, (2004), uma das características e vantagens do asfalto como material de construção, engenharia e manutenção é a sua grande versatilidade. Apesar de ser um material semi-sólido a temperaturas normais, o asfalto pode ser liquefeito pela aplicação de calor, dissolvendo-o em solventes, ou emulsificação.

Conforme Di Giulio (2007), o primeiro grande diferencial e tido como impacto positivo na utilização da borracha em misturas asfálticas está no ambiente, uma vez que a recuperação de piso neste formato, onde se utiliza cerca de mil pneus por quilômetro, o que diminui o depósito dos pneus em aterros ou fora deles.

Oda (2015) cita que a borracha não é um substituto ou uma substituição de polímero, mas funciona como um acessório de durabilidade. A borracha não fornece melhorias elastoméricas, mas diminui o envelhecimento prematuro e rachaduras, diminuindo a degradação do piso asfáltico aumentando assim sua durabilidade.

A borracha bem misturada com os ligantes ou incluída nos preenchimentos por qualquer dos procedimentos de integração, altera os atributos do pavimento, proporcionando-lhe características favoráveis ao meio ambiente.

## **9.2 Desvantagens**

Apesar de ser uma proposta que pode trazer grandes benefícios a natureza e ao ramo da pavimentação, o asfalto-borracha também apresenta suas desvantagens.

O custo de execução é uma desvantagem existente e que pesa muito na hora da escolha por asfalto convencional ou o asfalto-borracha. De acordo com Di Giulio (2004), a valor por quilometro de asfalto-borracha é em torno de 30% maior que o convencional, isto apenas a execução.

Outro fator que surge como desvantagem é a necessidade de alguns equipamentos especiais, a falta de padronização dos critérios de dosagem com também o custo para obter a borracha moída.

Há quem diga que o fato de exigir uma temperatura elevada para composição do asfalto-borracha cause uma poluição maior ao ar pela liberação de componentes poluentes presentes na borracha. Porém neste caso, os benefícios são maiores que os malefícios não influenciando tanto na escolha.

## **10 VIABILIDADE FINANCEIRA DE PROJETOS COM UTILIZAÇÃO DO ASFALTO-BORRACHA EM RELAÇÃO AO ASFALTO CONVENCIONAL.**

Um estudo produzido por Sanches, Grandini e Junior (p.48) na cidade de Curitiba, especificamente na Rua Angelo Domingos Durigan, será apresentado a seguir.

Na visita à rua, foram selecionados 2 trechos de 100 metros para cada tipo de pavimento ser analisado. No total foram estudados 400 metros da via, sendo que foram selecionados 200 metros que dividem os dois tipos de pavimento a fim de ter um tráfego mais semelhante possível.

Por fim, foi escolhido um terceiro trecho aleatório de 100 metros para dois modelos de pavimentação.

Durante os estudos ficou evidente que os custos seriam diferentes, sendo avaliados os valores de execução como também de manutenção.

Ambos os trechos foram executados no ano de 2005 pela prefeitura municipal de Curitiba. Sendo a via municipal, ficou então a prefeitura como órgão responsável pela manutenção. Os estudos foram realizados 7 anos após a execução.

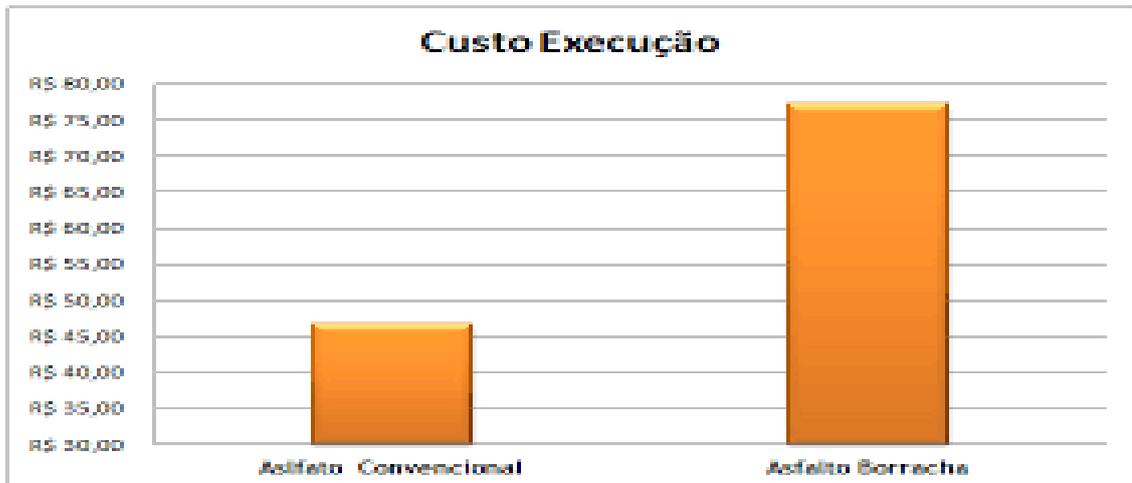
Após uma análise visual, observou-se que o 70% do trecho com Cimento Asfáltico de Petróleo 50/70 precisou de manutenção, enquanto o de asfalto-borracha apenas 10%.

Para realizar a comparação dos custos foi utilizado tabelas da prefeitura de Curitiba em exercício no ano de 2012. É necessário ressaltar que o custo de manutenção é o mesmo para o asfalto borracha e o convencional uma vez que a manutenção se dá da mesma forma para ambas.

Segue abaixo os custos de execução e manutenção:

1. Execução de pavimento convencional com preparo de base: R\$46,66/m<sup>2</sup>
2. Execução de pavimento em asfalto-borracha com preparo de base: R\$77,22/m<sup>2</sup>
3. Manutenção em asfalto convencional: R\$67,30/m

Gráfico 2- Custo de execução Asfalto-Borracha e Convencional



Fonte: Custo de execução - SANCHES; GRANDINI; JUNIOR, (2012).

Os dados evidenciam que o custo de execução do asfalto-borracha é maior que o convencional, na presente pesquisa um valor 69,49% maior.

Entretanto, como já citado após 7 anos de uso foi observado um desgaste muito maior nos trechos de asfalto convencional, ocasionando assim numa demanda de manutenção bem maior e relativamente um custo bem elevado para solucionar o problema.

Segue abaixo os valores de manutenção:

1. Manutenção do Asfalto-Borracha:  $R\$67,30/m^2 \times 0,10 = R\$ 6,73/m^2$

2. Manutenção do Asfalto Convencional:  $R\$67,30/m^2 \times 0,70 = R\$47,11/m^2$

Gráfico 3- Custo de Manutenção Asfalto-Borracha e Convencional



Fonte: Custo de manutenção - SANCHES; GRANDINI; JUNIOR, (2012).

## 11 CONCLUSÃO

À medida que a construção civil adquire novos métodos construtivos, inovações tecnológicas de qualidade e busca melhor desempenho, são necessárias soluções que possam reduzir os impactos ambientais com foco no desenvolvimento sustentável.

O estudo demonstrou que os problemas causados pelas rodovias têm trazido grandes consequências para os usuários, o que tem gerado preocupação com a qualidade dos métodos utilizados e maiores custos de manutenção.

Para melhorar o sistema viário, a aparência do asfalto-borracha tem sido amplamente usada internacionalmente. A aplicação é a modificação de asfalto convencional, com a adição de polímeros ligados a resíduos de pneus, resultando na melhora do desempenho da superfície da estrada e obtendo maior elasticidade e resistência.

Percebe-se que além de reduzir o impacto ambiental causado pelo manuseio incorreto dos pneus, pode-se constatar que ainda existem milhões de pneus descartados erroneamente, necessitando assim numa maior utilização do método ocasionando num melhor impacto ao meio ambiente.

Com a utilização do asfalto modificado com borracha, o reaproveitamento desses pneus em pavimentos asfálticos ocasiona em melhorias estruturais e econômicas, bem como a prevenção de patologias causadas pela falta de decomposição elástica. Diante disso, pode-se concluir que seu custo pode ser superior ao do asfalto convencional, mas sua resistência é aumentada, não sendo necessários grandes períodos de manutenção para evitar problemas estruturais na camada de pavimentação.

O asfalto modificado por borracha tem reduzido o impacto no meio ambiente, é considerado promissor e o governo deve adotar medidas e tecnologias que favoreçam seu uso, inovando a engenharia empregada na pavimentação e fazendo uma vitrine para instalação de novas empresas na área, ocasionando assim mais recursos econômicos, sustentabilidade e geração de mais empregos.

Com muitos benefícios, a sociedade deve aderir ao novo processo de pavimentação e suas práticas para continuar mudando completamente o meio ambiente tornando o mundo melhor e potencializando os métodos de pavimentação.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDOU, M. R.; BERNUCCI, L. L. B. **Pavimento ecológico: uma opção para pavimentação de vias das grandes cidades.** São Paulo, 2014.

BERNUCCI, L.B; MOTTA, L.M; CERRATI, J.A.P; SOARES, J.B. **Pavimentação asfáltica formação básica para os engenheiros.** 3 Ed. Rio de Janeiro, 2010.

BALBO, José Tadeu. **Pavimentação Asfáltica.** 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

CONAMA - **Conselho Nacional de Meio Ambiente.** Resolução nº 23, de 12 de dezembro de 1996. Dispõe sobre as definições e o tratamento a ser dado aos resíduos perigosos, conforme as normas adotadas pela Convenção da Basiléia sobre o controle de Movimentos Transfronteiriços de Resíduos perigosos e seu Depósito. Brasília: CONAMA, 1996.

DI GIULIO, G. **Vantagens ambientais e econômicas no uso de borracha em asfalto.** Inovação Uniemp, Campinas, v. 3,n. 3, jun. 2007.

FAXINA, A.L. **Estudo em Laboratório do Desempenho de Concreto Asfáltico Usinado a Quente Empregando Ligante Tipo Asfalto-Borracha.** Dissertação de Mestrado, EESC, São Carlos, SP, Brasil, 2002.

GARDIN, J A C; FIGUEIRÓ, P S; NASCIMENTO, L F. **Logística Reversa de Pneus Inservíveis:** discussões sobre três alternativas de reciclagem para este passivo ambiental. Revista Gestão e Planejamento, Salvador, v. 11, n. 2, p. 232-249, jul./dez. 2010.

GRECA ASFALTOS. **Durabilidade, tecnologia e sustentabilidade.** Disponível em:<<http://www.grecaasfaltos.com.br/asfalto-borracha>>.

MARTINS, H A F. **A utilização da borracha de pneus na pavimentação asfáltica.** Trabalho de conclusão de curso. Universidade Anhambí Morumbi. São Paulo, 115p., 2004. Disponível em: <http://engenharia.anhambi.br/tcc04/civil-14.pdf> Acesso 19 maio 2021.

MEDINA, J. **Mecânica dos Pavimentos.** Rio de Janeiro, Editora UFRJ, 380p. 1997.

ODA, S. **Análise da viabilidade técnica da utilização do ligante asfalto-borracha em obras de pavimentação.** 2000. 251 f. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

ODA, S. **Aplicação De Asfalto-Borracha na Bahia.** In:3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás. 22 f. Bahia, 2015.

PINTO, S. PREUSSLER, E. **Pavimentação Rodoviária –Conceitos Fundamentais sobre Pavimentos Flexíveis.** Rio de Janeiro, 2ª ed. 269p. 2002.

RAMALHO, A. V. F. Uma análise dos benefícios com a utilização do asfalto-borracha nas rodovias do Brasil. São Paulo, SP, 2009

REIS, et al. **As Utilidades dos Pneus Descartados no Estado da Paraíba** -Nordeste do Brasil. In: 19º Congresso Brasileiro De Engenharia Sanitária. Anais...Foz do Iguaçu. ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. 1997

RODRIGUES, R. M. **Estudo do trincamento dos pavimentos**. Rio de Janeiro. Tese de Doutorado em Engenharia –COPPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 208p. 2005.

SANCHES, F G; GRANDINI, F H B; BAIERLE JUNIOR, O. **Avaliação da viabilidade financeira de projetos com utilização do asfalto-borracha em relação ao asfalto convencional**. 2012. 73 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

SENÇO, W. de. (2001) "**Manual de Técnicas de Pavimentação**", Editora PINI, 1ª ed., v.2, São Paulo.

SPECHT, L. P. **Avaliação de misturas asfálticas com incorporação de borracha reciclada de pneus**. Porto Alegre, Tese de Doutorado. Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 278p. 2004.

WICKBOLDT, V. S. **Ensaio acelerados de Pavimentos para avaliação de desempenho de Recapeamentos Asfálticos** – Dissertação de Mestrado – PPGEC/UFRGS. 134p. 2005.