

**UNIEVANGÉLICA**

**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**LUAN HONÓRIO BRASIL TEIXEIRA  
OTAVIO CORREIA CAMPOS ARAUJO**

**ESTUDO DAS VANTAGENS DO ASFALTO-BORRACHA EM  
RELAÇÃO AO ASFALTO CONVENCIONAL**

**ANÁPOLIS / GO**

**2018**

**LUAN HONÓRIO BRASIL TEIXEIRA**  
**OTAVIO CORREIA CAMPOS ARAUJO**

**ESTUDO DAS VANTAGENS DO ASFALTO-BORRACHA EM  
RELAÇÃO AO ASFALTO CONVENCIONAL**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA**

**ORIENTADOR: WANESSA MESQUITA GODOI QUARESMA**

**ANÁPOLIS / GO: 2018**

## FICHA CATALOGRÁFICA

TEIXEIRA, LUAN HONORIO BRASIL/ ARAUJO, OTAVIO CORREIA CAMPOS.

Estudo das vantagens do Asfalto-Borracha em relação ao Asfalto Convencional

45P, 297 mm (ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 2018).

TCC – UniEvangélica

Curso de Engenharia Civil.

1. Pavimentação

2. Sustentabilidade

3. Asfalto Borracha

4. Asfalto Convencional

I. ENC/UNI

II. Título (Série)

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

TEIXEIRA, Luan Honório Brasil; ARAUJO, Otavio Correia Campos Estudo das vantagens do asfalto-borracha em relação ao asfalto convencional. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEvangélica, Anápolis, GO, 46p. 2018.

## CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTORES: Luan Honório Brasil Teixeira e Otávio Correia Campos Araujo

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: Estudo das Vantagens do Asfalto-Borracha em Relação ao Asfalto Convencional

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil

ANO: 2018

É concedida à UniEvangélica a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.



Luan Honório Brasil Teixeira  
E-mail: luan.honorio01@gmail.com



Otavio Correia Campos Araujo  
E-mail: otaviocorreiacampos@hotmail.com

**LUAN HONÓRIO BRASIL TEIXEIRA  
OTAVIO CORREIA CAMPOS ARAUJO**

**ESTUDO DAS VANTAGENS DO ASFALTO-BORRACHA  
EM RELAÇÃO AO ASFALTO CONVENCIONAL**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE  
ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA COMO PARTE DOS  
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE  
BACHAREL**

**APROVADO POR:**

  
\_\_\_\_\_  
**WANESSA MESQUITA GODOI QUARESMA, Mestre em Eng. Civil  
(UniEvangélica)  
(ORIENTADORA)**

  
\_\_\_\_\_  
**AGNALDO ANTONIO MOREIRA TEODORO DA SILVA, Especialista  
(UniEvangélica)  
(EXAMINADOR INTERNO)**

  
\_\_\_\_\_  
**MARY HELLEN DA COSTA MONTEIRO, Mestre (UniEvangélica)  
(EXAMINADOR INTERNO)**

# **LUAN HONÓRIO BRASIL TEIXEIRA OTAVIO CORREIA CAMPOS ARAUJO**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço em primeiro lugar a Deus que iluminou meu caminho durante esta caminhada.

Agradeço a minha família que sempre estiveram ao meu lado me dando forças e incentivo todos esses anos que permaneci na faculdade.

Aos meus colegas que se tornaram irmãos ao longo desses anos.

Enfim a todas as pessoas que sempre estiveram e participaram ao meu lado nos momentos de aflição e em momentos de felicidade.

Luan Honório Brasil Teixeira

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente à Deus por ter me abençoado durante esses 5 anos de curso. Aos meus pais, por terem me dado respaldo e condições para que pudesse me dedicar exclusivamente aos estudos.

Otávio Correia Campos Araújo

## RESUMO

A presente monografia tem como enfoque estudo quanto a utilização de asfalto borracha em processo de pavimentação. A escolha por essa temática decorreu diante da busca por medidas sustentáveis e de melhor custo na área de engenharia, e, nesse contexto tem inserido o reaproveitamento da borracha dos pneus, já que o pavimento do tipo convencional apresenta custos elevados e em alguns casos de baixa qualidade, sendo importante assim que se busque novas alternativas com menor custo benefício. O objetivo do presente estudo de forma geral consiste em realizar uma análise comparativa de custos entre asfalto borracha e asfalto convencional apresentando vantagens, desvantagens e viabilidade; realizar levantamento de dados visando obter os custos a disponibilidade de matéria prima e também com relação a mão de obra especializada; compará-los dentro do viés custo-benefício principalmente quanto a manutenção e aplicação. A metodologia utilizada neste estudo foi de caráter bibliográfico e também estudo de caso visando realização de análise comparativa entre massa asfáltica convencional x borracha, em uma cidade de Goiás. Através desse estudo apresentou-se como vantagens em termos de massa asfáltica proveniente de borracha de pneus maiores custos, porém, segundo os estudos analisados, os apontamentos se referem a vantagens quanto a custo – benefício principalmente quanto a manutenção de vias, além de apresentar viabilidade ambiental e econômica, isso devido a reutilização de pneus que não se tem mais utilidade. Quanto aos custos pode-se observar custo maior, no quesito de materiais utilizados no processo de pavimentação.

**Palavras-chave:** Engenharia. Asfalto. Convencional. Borracha.

## ABSTRACT

This monograph has as focus study how the use of rubber in asphalt paving process. The choice of this subject took place facing the quest for sustainable and cost-effective measures in the area of engineering, and, in this context has entered the reclaiming of rubber tires, since the conventional type pavement presents high costs and in some cases of poor quality, being important to seek out new alternatives with lower cost benefit. The objective of the present study generally consists in conducting a comparative analysis of costs between asphalt and asphalt conventional rubber showing advantages, disadvantages and feasibility; perform data collection in order to obtain the costs the availability of raw materials and also with respect to skilled labor; compare them within the bias value primarily as maintenance and application. The methodology used in this study was of bibliographic and character case study also aimed at conducting comparative analysis between conventional asphalt mass x rubber, in a city of Goiás. Through this study introduced himself as advantages in terms of mass from tire rubber asphalt higher costs, however, according to the studies reviewed, the notes refer to benefits as the cost-benefit mainly about maintenance of roads, in addition to presenting environmental and economic viability, that due to reuse of tyres that you have no further use. As the costs can observe higher cost, in terms of materials used in the paving process.

**Keywords:** Engineering. Asphalt. Conventional. Rubber.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Classificação dos revestimentos.....	11
Figura 2 - Usina descontínua ou gravimétrica.....	12
Figura 3 - Usina contínua ou volumétrica.....	12
Figura 4 - Aplicação de Lama Asfáltica.....	13
Figura 5 - Camadas de aplicação de Tratamentos Superficiais Simples e Duplo.....	14
Figura 7 – Dados de Composição da Mistura Asfáltica.....	15
Figura 8 - Constituição da Mistura Asfáltica.....	18
Figura 09 - Silos de armazenamento de agregados e torre de controle.....	20
Figura 10 – Tabela comparativa revestimento CBUQ Convencional x revestimento CBUQ com asfalto-borracha - Greca Asfalto: Estudo Ecoflex (2009).....	28
Figura 11 - Figura: Custo de manutenção + execução de revestimento Convencional x revestimento asfalto-borracha - Greca Asfalto: Estudo Ecoflex (2009).....	29

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Faixa granulométrica utilizada no Brasil para gab graded.....	21
Tabela 2 – Temperaturas de usinagem e compactação.....	25
Tabela 3 – Especificação de asfalto-borracha – terminal blend IBP.....	27
Tabela 4 – Serviços preliminares de pavimentação de asfalto – borracha utilizados em obra de recapeamento na cidade de Pires do Rio –GO.....	31
Tabela 5 – Serviços preliminares de pavimentação de asfalto convencional utilizados em obra de recapeamento na cidade de Pires do Rio –GO.....	32
Tabela 6 – Custos de pavimentação de asfalto borracha utilizados em obra de recapeamento na cidade de Pires do Rio –GO.....	33
Tabela 7 – Custos de pavimentação de asfalto convencional utilizados em obra de recapeamento na cidade de Pires do Rio –GO.....	34

## LISTA DE QUADROS

Quadro 01 - Critérios estabelecidos para porcentagem de vazios (% Vv) e relação betume vazio (RBV), e valores para estabilidade e fluência .....	17
Quadro 02 – Vantagens e desvantagens entre a massa asfáltica convencional e da massa asfáltica borracha .....	36

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>8</b>
1.1 OBJETIVOS.....	9
<b>1.1.1 Objetivo Geral .....</b>	<b>9</b>
<b>1.1.2 Objetivos Específicos.....</b>	<b>9</b>
1.2 JUSTIFICATIVA .....	9
1.4 METODOLOGIA.....	10
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO .....	10
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>11</b>
2.1 MISTURAS USINADAS .....	11
<b>2.1.1 Misturas usinadas a frio.....</b>	<b>13</b>
<b>2.1.2 Misturas não usinadas.....</b>	<b>14</b>
<b>2.1.3 Misturas usinadas a quente .....</b>	<b>14</b>
2.2 DOSAGEM DO CONCRETO ASFÁLTICO .....	16
2.3 ASFALTO-BORRACHA.....	18
<b>2.3.1 Histórico .....</b>	<b>18</b>
<b>2.3.2 Definição .....</b>	<b>19</b>
<b>2.3.3 Asfalto borracha no mundo .....</b>	<b>19</b>
<b>2.3.4 Asfalto borracha no Brasil.....</b>	<b>20</b>
<b>2.3.5 Processo de reciclagem da borracha.....</b>	<b>21</b>
<b>2.3.6 Obtenção do asfalto-borracha .....</b>	<b>22</b>
<b>2.3.7 Viabilidade e aplicação de massa asfáltica – borracha no Brasil.....</b>	<b>24</b>
<b>2.3.8 Transporte, espalhamento e compactação .....</b>	<b>25</b>
<b>3 ESTUDO DE CASO .....</b>	<b>30</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>31</b>
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>37</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>39</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo de introdução serão apresentados os estudos que deram início a esta monografia. Abordará a contextualização do tema, bem como os objetivos gerais e específicos, justificativa, metodologia empregada e a estruturação do trabalho.

Pavimentos de massa asfáltico são compostos de múltiplas camadas, sendo revestimento, base asfáltico, base, sub base e por fim reforço do subleito, sendo a parte do revestimento que recebe o fluxo de veículos e ações climáticas. Os pavimentos são utilizados em estradas, vias urbanas e rodovias, tendo no Brasil de estradas pavimentadas em torno de 12%. A escolha do pavimento deve levar em consideração o tipo de tráfego, solo, vida útil dentre outros fatores (ZAGONEL, 2013).

No Brasil observa-se que o revestimento de pavimentos utilizados são obtidos pela agregação de materiais, podendo ainda ser por meio de concreto betuminoso a quente ou a frio. Vale reiterar que o usinado a quente é descrito como o mais utilizado no Brasil, o qual é formado pela mistura de agregados com tamanhos e materiais diversos, cimento asfáltico aquecidos em temperatura adequada tendo a busca pela viscosidade – temperatura do ligante. Quanto as misturas usinadas a frio estas são caracterizadas como mais econômicas, porém, é indicada somente para vias de baixo volume de tráfego, ou então, são utilizadas na camada intermediária, e em processo de recuperação e recapagem.

Porém, tem surgido proposta e projetos desenvolvidos que utilizam-se de massa asfáltica modificada, tendo os aditivos utilizado no processo de usinagem características físicas e químicas melhoradas, e, em alguns casos demonstram-se superiores comparando ao asfalto convencional, podendo exemplificar nesse caso, a obtenção de massa asfáltica borracha que é obtida por processo de reutilização de materiais de pneus velhos combinado com ligante.

Essa busca por novos processos e também de materiais de massa asfáltica demonstra-se promissora, diante de vários fatores. Primeiramente por ser o Brasil um país rodoviarista, ou seja, que apresenta fluxo considerável de veículos rodoviários. Outro pela obtenção de materiais que apresentam contribuição ambiental na economia de recursos e matérias, como utilização de borracha de pneus velhos que além de aspetos ambientais, ainda apresenta viabilidade de custos, como pode-se citar redução de manutenção a longo prazo. Com isso, pode-se colocar que asfalto modificado por borracha de pneus granulada contribui para um desenvolvimento sustentável ao definir um destino final eficiente para um problema sério das sociedades modernas, os pneus usados (SAMPAIO, 2005).

Cabe salientar que a utilização de borracha de pneu colaboraria na melhoria de especificidades de materiais de pavimentação. Dessa forma, este estudo tem como intuito contribuição em termos de maiores conhecimentos e se possível incentivo a utilização de asfalto-borracha quando possível.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

O trabalho tem como objetivo realizar uma análise comparativa de custo e apontar as vantagens da utilização do asfalto-borracha como alternativa ao asfalto convencional avaliando sua viabilidade.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Apresentar de forma didática as vantagens do asfalto-borracha;
- Realizar levantamento de dados visando obter os custos a disponibilidade de matéria prima no estado de Goiás e a mão de obra especializada;
- Comparar o custo-benefício, aplicação e manutenção do asfalto-borracha em relação ao asfalto convencional;
- Comparar o tempo de aplicação do asfalto-borracha em relação ao asfalto convencional.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

Compreende ser necessário a busca por melhorias quanto ao procedimento de pavimentação asfáltico no Brasil. É preciso que estas apresentem infraestrutura adequada, com qualidade e se possível diminuição de custos. Diante disso tem sido propostas utilização de novas técnicas de pavimentação, que visa, propiciar avanços significativos na qualidade do pavimento, economicidade aos donos da obra e aos usuários conforme relatório do DNIT (2013), compreendem cerca de 12 %, o equivalente a 202.988,10 km. Diante dos altos custos que esse processo apresenta, tem-se buscado novos processos e de materiais sustentável como asfalto-borracha tendo-se intuito de reaproveitamento de materiais, bem como diminuição de custos do processo. Justifica-se assim a realização deste estudo, no intuito de possibilidade

abordagem mais ampla quanto a temática, tendo como base que métodos e processos construtivos ligados a pavimentação estão em constantes mudanças.

#### 1.4 METODOLOGIA

O trabalho foi iniciado com o estudo da arte dos conceitos e aplicações da pavimentação no Brasil. Para elucidar o explanado estudo comparativo de introdução do asfalto-borracha no estado de Goiás. A metodologia de desenvolvimento deste trabalho é dividida em três etapas: Onde a **Etapa 1**: Consiste na análise da composição do asfalto-borracha e sua aplicação. A **Etapa 2** apresenta a análise das vantagens do asfalto-borracha sobre o asfalto convencional no estado de Goiás. Considera também a análise do custo-benefício do asfalto-borracha em relação ao asfalto convencional. E por fim, a **Etapa 3** consiste na avaliação dos resultados obtidos da comparação realizada.

#### 1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está dividido em cinco capítulos, sendo eles: introdução, revisão bibliográfica, estudo de caso, resultado e discussões e conclusão e sugestões.

O **Capítulo 1**, apresenta introdução ao tema estudado, abordando questões relacionadas a objetivo, justificativa, metodologia e estrutura do trabalho.

O **Capítulo 2** apresenta a Revisão Bibliográfica, onde é apresentado o estudo da arte sobre o tema que deu início a pesquisa.

No **Capítulo 3** é explicado a metodologia utilizadas na confecção do estudo comparativo empregado com intuito elucidativo da abordagem do tema.

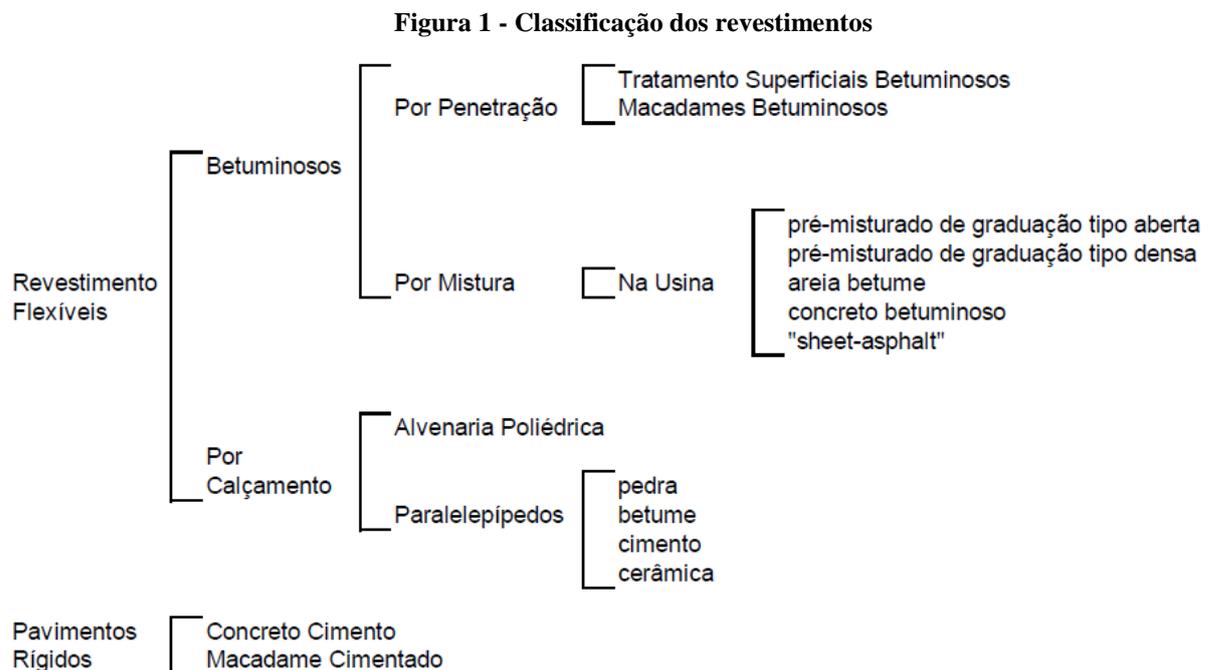
O **Capítulo 4** mostra os Resultados e Discussões serão apresentados os resultados e comparativos obtidos pela revisão bibliográfica e estudo de caso.

Por fim, o **Capítulo 5** apresenta a conclusão e sugestões para trabalhos futuros.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo será feita uma breve explanação da fundamentação teórica a qual a presente monografia foi baseada, tendo como enfoque aspectos relevantes apresentando aspectos relevantes no que diz respeito a massa asfáltica utilizada no processo de pavimentação (BERNUCCI et al, 2008).

O DNIT em seu manual de pavimentação estabelece a seguinte classificação dos revestimentos (Figura 1):



**Fonte:** Manual de Pavimentação DNIT (2006)

É preciso ressaltar que revestimento flexíveis são os que mais são utilizados no Brasil, tendo-se como predominância Betuminosos.

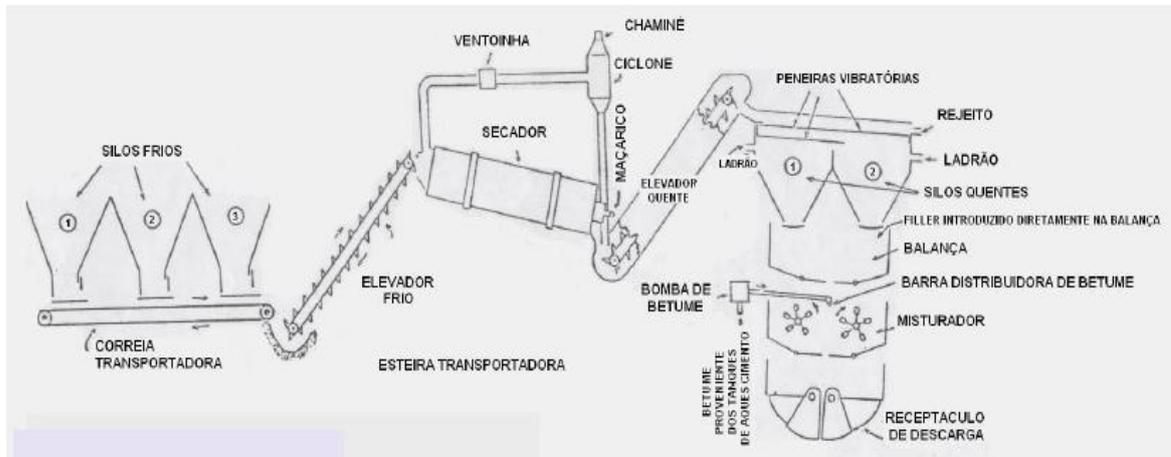
### 2.1 MISTURAS USINADAS

Pode-se inicialmente explicar que concreto betuminoso são produzidos em usinas próprias com a capacidade que irá ser produzido, sendo divididas em dois modos que são referente à temperatura (quente ou fria) e subdividas pela granulometria do agregado empregado, em dois tipos básicos:

- Usinas descontínuas – que apresentam produção descontínua; gravimétrica.

(Figura 2).

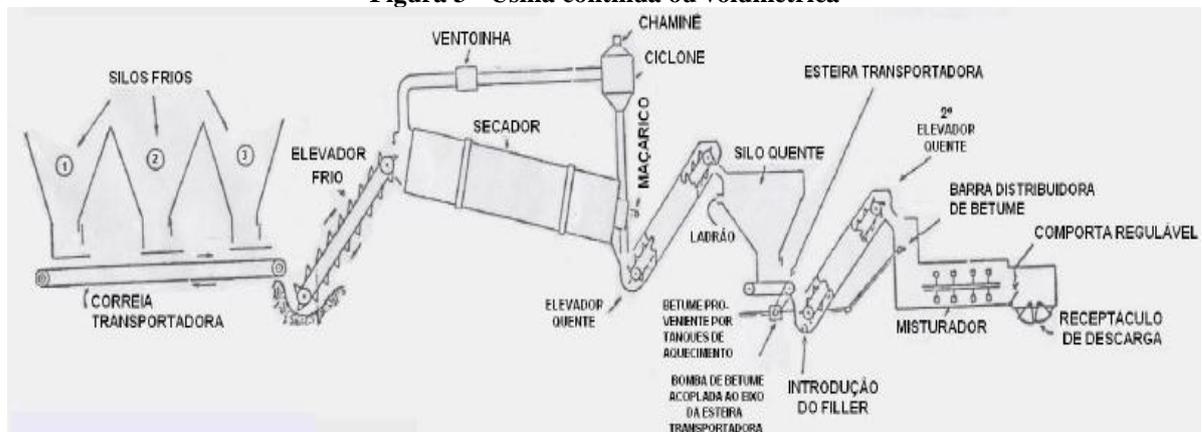
**Figura 2 – Usina descontínua ou gravimétrica**



Fonte: Bernucci et al (2008, p. 374).

As usinas contínuas são aquelas que apresentam produção contínua, volumétricas e que utilizam TSM – Tambor Secador Misturador conhecido também como Drum-Mixer (Figura 3).

**Figura 3 - Usina contínua ou volumétrica**



Fonte: Bernucci et al (2008, p. 374).

As estradas dos Brasil são na maioria revestidas de massa asfáltica obtida pela agregação de diferentes materiais ligantes, sendo estas escolhidas diante da proporção que irá ser utilizada e para fins específicos, tendo em vista garantir a impermeabilidade, flexibilidade, durabilidade e principalmente resistência quanto a derrapagens, fadiga, trincamentos térmicos que são as grandes problemáticas de vias no Brasil.

É necessário apontar que materiais utilizados em revestimentos são fabricados em usinas específicas, podendo exemplificar no caso de usinas fixas ou moveis as usinadas, e as

preparadas na própria pista que são endereçados a tratamentos superficiais como recapeamento (BERNUCCI et al., 2008).

### 2.1.1 Misturas usinadas a frio

Misturas a frio são usadas principalmente para projetos de manutenção de estradas e são soluções para bases de estradas ou camadas de superfície modificadas com características de impermeabilização e um comportamento mecânico mais flexível. Estas misturas são fabricadas por meio de minerais e também mistura asfáltica, sendo o fundamental mesmo é que sejam espalhadas e compactada a frio, assim como os agregantes não podem ser aquecidos (BERNUCCI et. al., 2008).

A mistura a frio segue então métodos específicos de dimensionamento, sendo sua produção em plantas simplificadas que não apresentam secadores, a qual pode ser armazenada por determinado tempo, conforme especificações do DNIT 150 (2010), onde ainda aponta que essa lama asfáltica é utilizada em serviços como selagem, impermeabilização e restauração e pavimentos, não sendo capaz de corrigir imperfeições mais acentuadas, e nem modificar capacidade estrutural. Sua aplicação deve ser realizada com barra de distribuição de fluxo contínuo conforme demonstrado na Figura 4 abaixo:

**Figura 4 - Aplicação de Lama Asfáltica**



Fonte: Próprio Autor (2017)

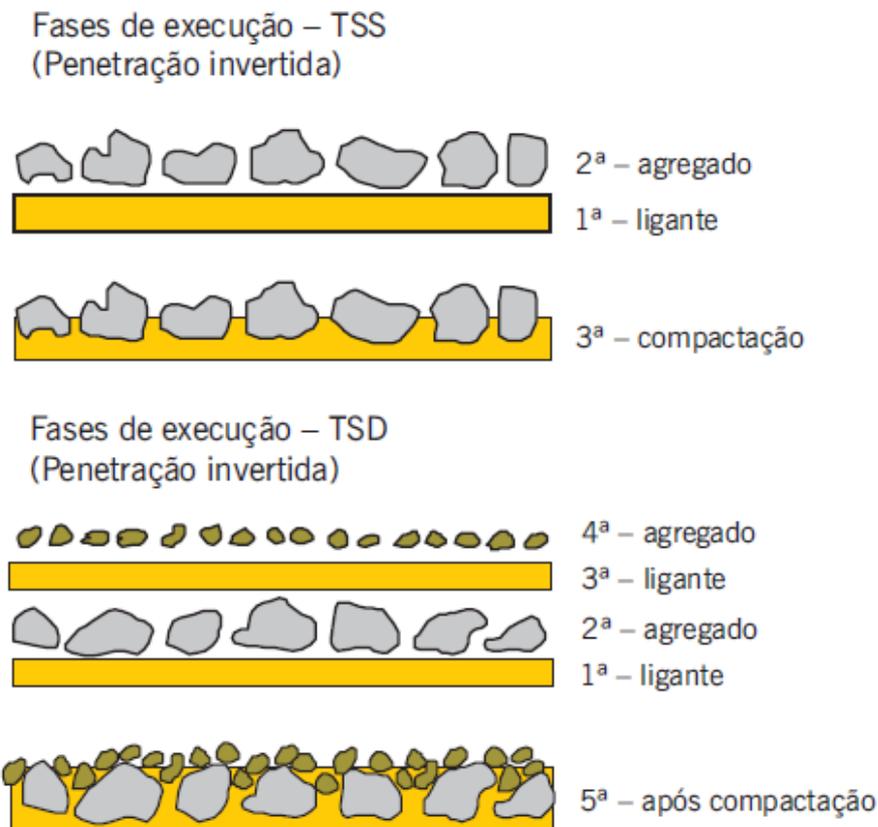
Microrevestimento: De acordo com a ES- 035/2005 do DNIT, micro revestimento asfáltico a frio com emulsão modificada por polímero refere-se a uma associação de agregado, material de enchimento (filer), emulsão asfáltica modificada por polímero do tipo SBS, água, aditivos se necessários. Esse microrevestimento é caracterizado como evolução da lama asfáltica, a qual utiliza de polímeros para modificar a emulsão, tendo o intuito de aumentar a vida útil desta camada.

### 2.1.2 Misturas não usinadas

As misturas não usinadas referem-se a um tratamento superficial onde se utiliza de agregado e ligante, sem mistura prévia, sendo que após esse processo realiza-se a compactação que realiza-se então a adesão dos constituintes (BERNUCCI et. al. 2008).

As fases de execução de tratamentos superficiais podem ser descritos em três (Simples, Duplo e Triplo) conforme demonstrado na figura abaixo:

**Figura 5 – Tipos de aplicação de camadas em tratamentos superficiais (simples e duplo)**



Fonte: BERNUCCI *et. al.* (2008)

### 2.1.3 Misturas usinadas a quente

As misturas usinadas a quente é de forma distante aos outros tipos, isso devido ao seu fator granulométrico empregado e exigências quanto a mecânica. É um composto de aproximadamente 95% de pedra, areia ou cascalho, unido por cimento asfáltico, um produto de petróleo bruto. É aquecido, combinado e misturado com o agregado, transportados por caminhões até o local de pavimentação e espalhado por vibroacabadora (BERNUCCI et al., 2008).

Demonstra-se o esse tipo de usinagem alto teor de resistência, porém, é necessário que materiais sejam selecionados e dosados de forma adequada, como por exemplo, o teor de asfalto a qual a pesagem deve estar entre 4,5% a 6%, podendo apresentar poucas variações, conforme pode-se observar com os dados especificados pelo DNIT (2006) que apresenta dados de composição que a mistura asfáltica deve conter, conforme pode-se verificar tabela 7 abaixo:

**Figura 7 – Dados de Composição da Mistura Asfáltica**

Peneira de Malha Quadrada		% em massa, passando			
Série ASTM	Abertura (mm)	A	B	C	Tolerâncias
2"	50,8	100	-	-	-
1 ½"	38,10	95 – 100	100	-	± 7%
1"	25,40	75 – 100	95 – 100	-	± 7%
¾"	19,10	60 – 90	80 – 100	100	± 7%
½"	12,70	-	-	80 – 100	± 7%
3/8"	9,50	35 – 65	45 – 80	70 – 90	± 7%
Nº 4	4,80	25 – 50	28 – 60	44 – 72	± 5%
Nº 10	2,00	20 – 40	20 – 45	22 – 50	± 5%
Nº 40	0,42	10 – 30	10 – 32	8 – 26	± 5%
Nº 80	0,18	5 – 20	8 – 20	4 – 16	± 3%
Nº 200	0,075	1 – 8	3 – 8	2 – 10	± 2%
Asfalto solúvel no CS2 (+) (%)		4,0 – 7,0 Camada de Ligação (Binder)	4,5 – 7,5 Camada de Ligação e Rolamento	4,5 – 9,0 Camada de Rolamento	± 0,3%

**Fonte:** DNIT-ES 031 (2006)

Esse revestimento é o mais empregado, isso devido a sua capacidade ligante, tornando este mais resistente a ações oriundas como clima, e carga, estando este mais próximo dos atendimentos das recomendações específicas para pavimentação Conforme expôs Marques (2007) de que para chegar a atingir tais recomendações deve-se realizar controles externos como obtenção de material betuminoso de acordo com as especificidades do DNIT e ensaios granulométricos. É significativo que se colete material ligante aplicado nas pistas a cada primeiras oito horas de trabalho. Um ponto de total relevância e que merece apontar é o monitoramento das características Marshall da mistura que está sendo utilizada e fabricada, devendo-se observar densidade, estabilidade mínima e faixa de valores do fluxo.

A força é medida em termos da "estabilidade do Marshall" é definida como a carga máxima transportada por uma amostra condensada e com temperatura de teste padrão. A flexibilidade é medida em termos do 'valor de fluxo' que é medido por mudança no diâmetro

da amostra na direção da aplicação de carga, tendo-se intervalo início de carregamento e o valor da carga máxima.

## 2.2 DOSAGEM DO CONCRETO ASFÁLTICO

Os valores obtidos dos testes Marshall podem ser excelentes direcionamentos para determinar o teor ótimo de asfalto. O projetista de mixagens deve se familiarizar com teste Marshall, aprender julgar a significância de cada parâmetro, além de ser capaz de analisar as características das misturas obtidas a partir dos resultados dos cálculos de projeto e valores de teste. Curvas Marshall não deve ser utilizado sozinho para determinar o teor de asfalto projetado. Essa técnica é fundamental para analisar somente as características da mistura, e assim decidir pela massa asfáltica ideal (SILVA, 2010).

Pode-se colocar assim que a estabilidade do ensaio Marshall é alcançada quando se coloca a máxima resistência a compressão axial é estipulada a partir da realização de corpo de prova (DNER, 1995). Já a fluência Marshall se refere a deformação obtida por meio de ensaio de prova a qual inicia-se desde a aplicação até a previsão de carga máxima dada em décimos de milímetro. No Brasil testes Marshall são utilizados constantemente, devido oferecer dados confiáveis de estabilidade, dosagem conforme especificações DNIT para rodovias do Brasil (VASCONCELOS; SOARES, 2005).

Vale apontar os parâmetros que Asphalt Institute considera consistência de misturas asfálticas as seguintes: Granulometria; espessura da mistura e máxima teórica da mistura; bem como dados de porcentagens de volume vazios ( $V_v$ ) e de vazios do agregado mineral (VAM). Outro ponto que deve-se dar atenção é a relação betume vazios (RBV) também é ponto de critério, assim como estabilidade e fluência (RODHE, 2007). Conforme demonstrado no quadro abaixo:

**Quadro 01** - Critérios estabelecidos Asphalt Institute quanto a porcentagem de vazios (%Vv) e relação betume vazio (RBV), e de valores de estabilidade e fluência

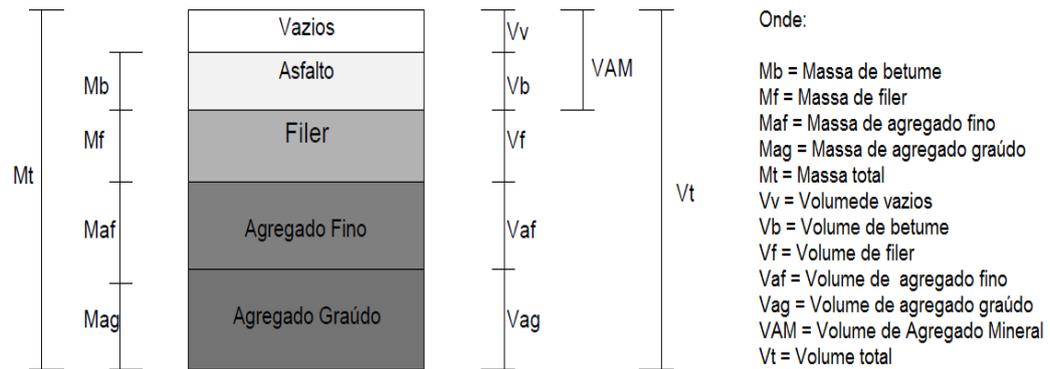
<b>Características</b>	<b>Método de ensaio</b>	<b>Camada de Rolamento (Faixa C)</b>	<b>Camada de Ligação (Binder)</b>
Porcentagem de vazios, %	DNER-ME 043	3 a 5	4 a 6
Relação betume/vazios	DNER-ME 043	75 – 82	65 – 72
Estabilidade, mínima, (Kgf) (75 golpes)	DNER-ME 043	500	500
Resistência à Tração por Compressão Diametral estática a 25°C, mínima, MPa	DNER-ME 138	0,65	0,65

**Fonte:** ES-031 DNIT (2006)

Observa-se no quadro acima que a estabilidade em corpos-de-prova formado por 75 golpes deve apresentar superior a 500 Kgf. Quanto aos valores de parâmetros mecânicos deve-se ter estabilidade Marshall mínima, quantidade de golpes para compactação de corpos-de-prova, resistências e demais critérios.

Diante de tais apontamentos pode-se colocar que a massa asfáltica é constituída por combinação de vários materiais como pedra, areia cascalho, unidos por cimento asfáltico, e petróleo bruto, sendo que estes são aquecidos a materiais agregantes, conforme representado na figura abaixo:

**Figura 8 - Constituição da Mistura Asfáltica**



**Fonte:** MARQUES (2007)

Para o processo é realizado inicialmente pré-dosagem, os silos, que são dosados individualmente pelo sistema de controle. Após esse processo os agregados são colocados então em secador a qual passam por processo de eliminação, iniciando também o processo de aquecimento visando a obtenção de temperatura de mistura ligante que fica em torno de 150° e 190° C, sendo esta determinada pelo tipo de mistura e ligante. Após esse processo os agregados então vão para o misturado externo, a qual ocorre separação de materiais (fino e pó) que ficam retidos nos filtros de mangas, e obtendo assim outro processo de separação mas de granulometria dos materiais por peneiras. Nesse mesmo tempo o sistema de dosagem então injeta ligante no misturado sobre os agregados secos e quentes (ZAGONEL, 2013).

## 2.3 ASFALTO-BORRACHA

### 2.3.1 Histórico

A iniciação quanto a utilização de asfalto-borracha aconteceu em 1940 diante da produção de produto utilizando material borracha pela Companhia de Reciclagem de Borracha, U.S. Ruber Reclaiming Company (WICKBOLDT, 2005).

A reutilização de borracha de pneu já é uma realidade em outros países como os Estados Unidos da América (EUA). Porém, somente em 1999 é que se iniciou uma maior atenção de estudos e pesquisas quanto asfalto modificado por borracha (AMB) no Brasil. Os estudos realizados visavam a utilização de borracha tendo o intuito de melhoria da qualidade do asfalto convencional, mas somente em 2001 é que houve realmente a efetivação de pesquisas e utilização do asfalto modificado por borracha no Brasil (GRECA ASFALTOS, 2011).

Desde então iniciou-se a utilização de asfalto borracha modificado, principalmente nos Estados Unidos, mas no Brasil iniciou-se atenção a esses materiais somente em 1999 em estudos que visavam esclarecer a utilização desses materiais em massa asfáltica, porém, somente a partir de 2001 é que aconteceu realmente efetivação de atenção e pesquisas (GRECA ASFALTOS, 2011). Atualmente no Brasil já se conta em torno de 8mil km de rodovias pavimentadas que utilizaram direta ou indiretamente asfalto-borracha (CORDEIRO; PINTO, 2018).

### **2.3.2 Definição**

O asfalto-borracha apresenta em sua composição pneus sem utilidades, e que para obtenção de tal material pode ser reciclado e preparado para ser incorporado a ligantes asfálticos utilizado no processo de pavimentação. A borracha de pneus que antes iriam ser descartados no meio ambiente então passaram a ser utilizados como material ligante ou até mesmo na obtenção de revestimento de camada seladora do asfalto. A faixa seladora de borracha asfáltica utiliza em torno de 1000 pneus por km selado de estradas de duas pistas, já no sistema árido, a utilização é maior, girando em torno de 4.500 e 7.500 pneus por km de estrada de duas pistas (GRECA ASFALTOS, 2011).

Asfalto modificado é aquele que, quando aditivado, tem suas características físicas e químicas melhoradas, de modo que seu desempenho em serviço seja superior ao do asfalto convencional. Esses aditivos são basicamente materiais poliméricos do tipo elastômeros e/ou plastômeros (CORDEIRO; PINTO, 2018).

As borrachas de pneus possuem excelentes propriedades tanto físicas como químicas, que incorporadas a ligantes, traz várias melhoras em pavimentos como durabilidade, resistência, diminuição da suscetibilidade térmica, além de ser uma matéria prima de produção (CORDEIRO; PINTO, 2018).

### **2.3.3 Asfalto borracha no mundo**

Muitos países adotaram a utilização de asfalto borracha, tendo em vista redução de custos de manutenção e também solução ecológica. Nos Estados Unidos por exemplo, onde foi iniciado a utilização de pneus reciclados na obtenção de material de massa asfáltica, tem-se mais ou menos 70% da malha viária utilizando desse material, principalmente em termos de revestimento, e isso fez crescer a produção de asfalto borracha, onde em 1985 apresentava-

se em torno de 900 toneladas/ano e em 2011 saltou-se para 37.000 toneladas/ano (PINTO; PINTO, 2018).

#### **2.3.4 Asfalto borracha no Brasil**

Como dito anteriormente a utilização de asfalto borracha iniciou no Brasil por volta do ano de 2000 após congresso realizado em Portugal. No Brasil, a iniciação de utilização é referenciado no ano de 2001 em uma obra da BR-116, no estado do Rio Grande do Sul, a qual em 16 km da rodovia aplicou-se asfalto-borracha. Após já foi utilizado em obras de rodovias no Estado de São Paulo e do Rio de Janeiro, e o estado do Ceará também já manifestou interesse (DIAS et al., 2016).

Sobretudo, tem-se três processos para a obtenção do asfalto-borracha: o processo seco, o úmido e variações do úmido denominadas terminal blend e continuous blend (field blend). No processo seco, ou via seca, a introdução da borracha ocorre junto ao processo de preparação da mistura asfáltica, nas usinas de asfalto, onde partículas secas de borracha granulada são acrescentadas aos agregados minerais preaquecidos (isso deve ser anterior a adição do cimento asfáltico convencional). Nesse a borracha de pneus reciclados são agregado na massa asfáltica. (PINTO; PINTO, 2018).

Quanto ao processo úmido, a borracha é adicionado ao ligante a qual utiliza de partes mais efetiva da borracha, como a elasticidade, sendo este um aspecto que contribui para aumento da resistência à fadiga de misturas asfálticas, a qual a borracha de pneu diminui ainda o processo de envelhecimento do cimento asfáltico ao longo do tempo e de utilização. Mas para modificar o ligante, é necessário fatores como tamanho da partícula da borracha, temperatura de reação, tipo de CAP, proporção CAP  $\times$  borracha entre outros fatores. A seguir, são resumidos alguns dos fatores envolvidos (CATAPRETA; ZAMBIASI; LOYOLA, 2016).

Pode-se reiterar ainda que para 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 desde a usina até a parte de aplicação em campo (PINTO; PINTO, 2018).

No Brasil, o processo úmido vem sendo adotado pela tecnologia terminal blend. O ligante é modificado em reatores específicos em fábricas de emulsões e de asfaltos borrachas modificados, por meio da incorporação de borracha finamente granulada ao asfalto e aditivos

(óleos extensores, por exemplo). O processo é controlado para atingir especificações que possibilitem a estocagem do asfalto-borracha tendo o intuito de preservar boa qualidade ao cimento asfáltico (PINTO; PINTO, 2018).

A produção em fábrica separada do local da usinagem é normalmente realizada com borrachas de granulometria, entre peneiras 40 e 80. Quando necessário, adicionam-se óleos extensores, do tipo extratos aromáticos, para proporcionar maior estabilidade à estocagem. Normalmente, o processo possibilita melhor controle de qualidade tanto do produto como quanto a dispersão da borracha no asfalto (SALINI, 2000).

A faixa granulométrica mais utilizada no Brasil é a preconizada pela Caltrans (California Department of Transportation), Califórnia, Estados Unidos, conforme a Tabela, a seguir.

**Tabela 1 - Faixa granulométrica utilizada no Brasil para *gab graded***

Peneira	Peso passando (%)
3/4"	100
1/2"	90 – 100
3/8"	78 – 92
No 4	28 – 42
No 8	15 – 25
No 30	10 – 20
No 50	7 – 15
No 100	4 – 10
No 200	2 – 7

**Fonte:** BERNUCCI *et. al.* (2008)

A mistura asfáltica *gab graded* é caracterizada por um elevado teor de asfalto-borracha (6,0 % a 8,0 %), com vazios da ordem de 4,0 % a 6,0 % e a relação betume-vazios (RBV) entre 65 % e 80 %. O alto teor de betumes-vazios favorece para que ocorra melhor acomodação do asfalto borracha, sendo que esse processo colabora na melhoria entre contato e os agregados. Vale reiterar que *gab graded* então é uma mistura usinada a quente, que apresenta resistência à deformação permanente, além de aderência entre pneu e pavimento. A compactação dessa massa asfáltico deve ser realizada utilizando rolo liso de chapa estático (ZAGONEL, 2013).

### **2.3.5 Processo de reciclagem da borracha**

A borracha também é chamada de elastômero, polímero não saturado, natural ou sintético, que, quando reticulado, apresenta características elásticas. Um polímero é uma

substância de alto peso molecular, constituída de monômeros, que, por sua vez, são radicais que se agrupam, regular e repetidamente, com a finalidade de formar uma macromolécula: (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>) etileno, (C<sub>4</sub>H<sub>8</sub>) isopreno (CORDEIRO; PINTO, 2017).

A borracha também pode significar elastômero, borracha sintética SBR (*styrene butadiene rubber*) e borracha butil IIR (*isobutylene isoprene rubber*), por exemplo, borracha de apagar, borracha da banda de rodagem e da lateral de um pneu. Quando a composição de borracha não é reticulada, chamamos de borracha crua. Caso contrário (reticulada), chamamos de borracha vulcanizada ou curada. A borracha natural, NR (natural rubber), de nome químico poli-isopreno, é obtida a partir da coagulação do látex da árvore *Hévea brasiliensis*. A borracha sintética é obtida a partir do petróleo ou hulha e pode ser de diversos tipos, como a borracha SBR, borracha butil etc (SPECHT, 2004).

Quanto a utilização ou melhor reutilização de pneus que seriam descartados ao meio ambiente, com relação ao Brasil, pode-se colocar que este assim como a Índia são os países do mundo que mais produzem borracha natural e sintética, ou seja, esse processo diminuiria tanto a obtenção de recursos naturais para essa produção como o descarte inadequado ao meio ambiente (CORDEIRO; PINTO, 2017).

Vale reiterar que para reaproveitar pneus inutilizados para o processo de pavimentação deve-se realizar trituração e moagem, sendo que nesse processo separa-se o aço do náilon, e deixando como útil somente a borracha em forma de pó. Assim, utiliza-se de equipamentos para reduzir a borracha vulcanizada a pequenos pedaços, ou mesmo a pó moinhos de cilindros, com ranhuras ou não; moinhos de disco; moinhos de martelo a baixas temperaturas; trituradores de faca (ZATARIN, et al. 2017).

### **2.3.6 Obtenção do asfalto-borracha**

Basicamente, existem três processos para a obtenção do asfalto-borracha: o processo seco, o úmido e variações do úmido denominadas terminal blend e continuous blend (field blend). No processo seco, ou via seca, a introdução da borracha ocorre durante o preparo da mistura asfáltica, nas usinas de asfalto. (MARTINS, 2004).

No processo via úmida, a borracha é previamente misturada ao ligante. Ocorre a transferência mais efetiva das características da borracha, como a elasticidade, que pode contribuir para o aumento da resistência à fadiga de misturas asfálticas. A borracha de pneu possui excelentes propriedades físicas e químicas incorporadas ao asfalto convencional, como

os agentes antioxidantes, que podem diminuir sensivelmente o envelhecimento do cimento asfáltico e aumentar a resistência à ação química de óleos e combustíveis (SPECHT, 2004).

No processo úmido, o ligante asfáltico é aquecido a altas temperaturas, da ordem de 180 °C, sendo transportado em seguida para um tanque de mistura apropriado, no qual ocorre a adição da borracha granulada ao asfalto convencional previamente aquecido. Em geral, o processo de interação entre o ligante asfáltico e a borracha granulada ocorre em um período de uma a quatro horas. Esse processo de mistura é facilitado pela ação de um dispositivo mecânico, geralmente uma palheta giratória horizontal, introduzido no tanque de mistura. O processo de modificação do ligante depende de fatores como tamanho da partícula da borracha, temperatura de reação, tipo de CAP, proporção CAP × borracha entre outros fatores (CORDEIRO; PINTO, 2017).

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. Ele leva à produção de asfalto-borracha estocável ou semiestocável, que pode atender às especificações da ASTM (MARTINS, 2004).

O processo terminal blend leva à produção de asfalto-borracha estocável ou semiestocável. Para esse processo, são necessários equipamentos específicos e adaptações para atender às peculiaridades do produto, particularmente nas atividades de transporte e estocagem do ligante na usina de asfalto (DIAS et al. 2014).

O asfalto-borracha é influenciado pelo tempo de digestão. Em grandes períodos de estocagem, pode ocorrer a degradação da borracha, fazendo com que o asfalto-borracha perca suas características (CORDEIRO; PINTO, 2018).

Referente ao tempo de reação, pode-se colocar os apontamentos de Takallou e Sainton (1992) a qual afirmam que, após determinado tempo de digestão, ocorre uma alteração na viscosidade do ligante acrescido pela borracha. Essa alteração leva a crer que, após determinado tempo, o ligante aquecido a altas temperaturas tende a se deteriorar. Os mesmos autores apontam como fatores de desvantagens quanto a utilização do asfalto-borracha a baixa estabilidade e estocagem. Nesse sentido, os autores avaliaram a possibilidade de se adicionar catalisadores e também óleos a mistura. Como resultado, conseguiram

misturas com boa estabilidade, que podem ser estocadas por até seis dias sem apresentar degradação e perda da qualidade.

### **2.3.7 Viabilidade e aplicação de massa asfáltica – borracha no Brasil**

Outro exemplo claro quanto a aplicação de massa asfáltica borracha no Brasil foi citado por Cordeiro e Pinto (2017) na obra da BR BR-040/RJ, sob administração da CONKER, a qual foi realizado restauração dos quilômetros 45 e 64, na região de Itaipava (RJ). A empresa transportou asfalto-borracha até o canteiro de obras a uma temperatura entre 175 °C e 180 °C. Para manter a homogeneidade do ligante, os tanques das carretas-tanque foram dotados de agitadores e bomba de asfalto de alto desempenho para o constante bombeamento e agitação do ligante, com isolamento térmico. O caminhão possuía um “mecanismo” para manter o ligante em constante movimento, com a finalidade de evitar a sedimentação da borracha introduzida no asfalto. O controle de qualidade do asfalto-borracha, deve atender os requisitos estabelecidos pela norma DER/PR ES-P 28/05, onde buscou-se prevalecer viscosidade Brookfield; uma penetração a 25 °C a qual chega-se a um ponto de amolecimento; e uma recuperação elástica. O tanque misturador da CONKER, desenvolvido e fabricado pela Ciber Equipamentos Rodoviários, contém dois agitadores, cada um eixo vertical com duas hélices de três pás em ângulo. Os agitadores são acionados por motores elétricos a uma rotação de 45 rpm. Além de que devem evitar restos de asfalto-borracha nos tanques, para evitar a formação de borras que poderão provocar o entupimento do sistema (CORDEIRO; PINTO, 2017).

A usina da obra da BR-040/RJ estava calibrada para a produção de cerca de 60 toneladas por hora. Em geral, produz por batelada de 800 kg a 850 kg de massa asfáltica. O tempo de mistura da massa no misturador (pugmill) é de cerca de 20 segundos. Diante de temperaturas maiores de usinagem (agregado –185 °C e ligante –175 °C), o consumo de combustível para a usinagem do asfalto-borracha é cerca de 7 % a 10 % superior, comparado à usinagem do CAP convencional. O controle da usinagem do concreto asfáltico na obra deve ser de acordo com os critérios estabelecidos pelo DNIT e é realizado a cada 200 toneladas de mistura asfáltica produzida ou a cada oito horas, ressaltando: 1. Controle da quantidade do ligante nas massas asfálticas usinadas: extrações do asfalto-borracha por meio do extrator do tipo Rotarex ou similar. 2. Controlamento de graduação da mistura de agregados: ensaios de granulometria da mistura dos agregados depois das extrações de betume. 3. Manutenção das características da mistura é estabelecido pelos ensaios Marshall. Na restauração da BR-

040/RJ, a massa foi lançada com a espessura em torno de 8 cm. Depois de compactada, atingiu a espessura de 6 cm, com grau de compactação (GC) superior a 97 %. O tráfego foi liberado imediatamente após o resfriamento da camada (CORDEIRO; PINTO, 2017).

### 2.3.8 Transporte, espalhamento e compactação

Os tanques de estocagem do asfalto-borracha devem ser dotados de agitadores mecânicos e sistema de circulação do ligante no tanque por meio de bombeamento, garantindo a circulação contínua do depósito (tanques) ao misturador (pugmill) durante toda a operação da usina. Outra recomendação do ponto de vista operacional é a lavagem do sistema (tubulação e barra espargidora) no final da jornada com asfalto convencional (sem borracha ou polímero) antes de fazer a sucção do asfalto da linha. Essa lavagem consiste em substituir o asfalto-borracha pelo convencional no final da jornada de trabalho, durante uns dois minutos para usinas contínuas ou dois traços para usinas gravimétricas. É recomendado o isolamento térmico da tubulação pela qual circula o asfalto-borracha (CORDEIRO; PINTO, 2017).

As usinas de asfalto não requerem grandes modificações para produzir misturas a partir do asfalto-borracha, mas exigem cuidados diferenciados. A usina de asfalto do tipo gravimétrica apresenta aspectos relevantes como os silos frios, o tambor secador, o elevador quente, a unidade classificadora (peneiras), os silos quentes e o misturador (DIAS et al. 2014).

A Tabela 2 demonstra dados quanto as temperaturas de usinagem e compactação de concretos favoráveis a massa asfálticos com borracha conforme designado por Morilha (2004):

**Tabela 2 - Temperaturas de usinagem e compactação**

Temperaturas, °C	Mínima	Máxima
Do ligante, pré-usinagem	165	177
Do agregado, pré-usinagem	170	177
Massa pós-usinagem	165	175
Compactação, mínima	155	-

**Fonte:** Morilha (2004)

A aplicação e compactação da massa na pista de massa asfáltica borracha não apresenta diferença em relação ao convencionalmente executado com ligantes tradicionais, tendo somente variação em termos de temperatura. Para a manutenção da temperatura após a

usinagem (principalmente durante as estações frias), devem-se manter os caminhões de transporte de massa cobertos por lona até o momento de abastecer a vibroacabadora. Deve-se limitar o avanço da vibroacabadora para que a frente de rolagem esteja sempre próxima a ela (CORDEIRO; PINTO, 2018).

Para realizar a distribuição de massa asfáltica deve-se utilizar acabadora automotriz para espalhar e alinhar a mistura. No entanto a compressão da mistura asfáltica é realizada utilizando de rolo de pneumáticos e rolo liso, sendo que estes rolos devem ser dotados de dispositivos que oferecem a troca automática de pressão conforme necessidade. A utilização de pneus uniformes é fundamental, visto que, assim evita-se marcas indesejáveis na mistura comprimida. (ZATARIN, et al. 2017).

Deve-se dar atenção especial ao monitoramento das temperaturas da massa asfáltica pois é através desta que será identificado o momento para o início da rolagem, podendo utilizar termômetros digitais. De acordo com os dados do DNIT a temperatura de rolagem deve ser a mais elevada que a mistura asfáltica suportar, com isso a mistura deve ser iniciada somente com baixa pressão dos rolos pneumáticos (DIAS et al. 2014).

A temperatura mínima de compactação deve permanecer em torno de 155 °C a 160 °C, e é importante evitar o trincamento da massa, quando muito quente, e a formação de “ondas” na frente do rolo (ZATARIN, et al. 2017).

Como essa mistura, na hora da descarga na pista, perde temperatura muito rapidamente, devem-se colocar rolos que acompanhem a vibroacabadora, de forma a não deixar a massa aplicada na pista por muito tempo sem compactação, uma vez que, se a temperatura cair muito, não aceitará a compactação. A temperatura de compactação deve ser medida durante o espalhamento da massa pela acabadora (ZATARIN, et al. 2017).

No caso de misturas densas, têm-se observado bom grau de compactação no uso de dois rolos pneumáticos pesados e dois rolos do tipo Tandem, aliado aos cuidados com a calibragem adequada dos pneus, com o objetivo de imprimir maiores pressões de compressão gradativamente, à medida que a massa se torna mais densa (CORDEIRO; PINTO, 2018).

A compactação vibratória, após a pneumática, também apresenta excelente resultado, tanto no aspecto do grau de compactação quanto em termos de acabamento final da camada. Antes do início da compactação, faz-se uma leve passagem com o rolo de chapa liso. A temperatura de compactação varia normalmente em torno de 165 °C a 170 °C. Na execução das juntas longitudinais, é normal o uso de rastelos (ZATARIN, et al. 2017).

Até os pneus do rolo ficarem aquecidos, deve-se limpá-los com óleo que não solubilize o asfalto, já que o asfalto-borracha adere fortemente ao pneu do rolo. O

empolamento de cada tipo de massa deve ser ajustado no campo. Normalmente, a espessura da massa solta (no caso de misturas densas) deve ser em torno de 30 % superior à da espessura da massa compactada (DIAS et al. 2014).

Um dos fatores que auxiliam a resistência ao envelhecimento do asfalto-borracha é a quantidade de aditivo adicionada ao ligante. A maior disponibilidade de agentes antioxidantes, agentes de vulcanização (enxofre), ceras, negro de fumo e outras “cargas” pertencentes à borracha do pneu podem auxiliar na proteção do cimento asfáltico no que se refere ao processo de oxidação, durante a usinagem da massa asfáltica, ou seja, asfaltos × borracha bem formulados permitem fabricar ligantes modificados de alta qualidade (DIAS et al. 2014).

A Tabela 3 apresenta a especificação de asfalto-borracha elaborada pela Comissão de Asfalto do IBP.

**Tabela 3 - Especificação de asfalto-borracha – terminal blend IBP**

Ensaio	Norma	Asfalto-borracha	
		Tipo AB22	Tipo AB8
Penetração (25 °C, 100 g, 5 s), 0,1 mm	NBR 6576	30 - 70	30 - 70
Ponto de amolecimento, mínimo, °C	NBR 6570	57	55
Viscosidade Brookfield (175 °C, 20 rpm, spindle 3), cP	NBR 15184	2200 - 4000	800 - 2000
Ponto de fulgor, mínimo, °C	NBR 11341	235	235
Recuperação elástica ductilômetro (25 °C, 20 cm), mínima, %	NBR 15086	55	50
Estabilidade à estocagem, máxima, °C	NBR 15166	9	9
Ensaio no resíduo após o RTFOT			
Variação de massa, máxima, %	NBR 15235	1,0	1,0
Variação do ponto de amolecimento, máxima, °C	NBR 6570	10	10
Porcentagem da penetração original, mínima, %	NBR 6576	55	55
Porcentagem da recuperação elástica original, (25 °C, 20 cm), mínima, %	NBR 15086	-	-

**Fonte:** BERNUCCI *et. al.* (2008)

Zagonel (2013) apresentou em seu estudo análise quanto revestimentos asfálticos borrachas nas mais diversas situações como alto e baixo tráfego, túneis, vias urbanas, corredores de ônibus, dentre outras. E, diante disso é fundamental que a técnica construtiva deve levar em conta a relação custo / benefício. No caso de dois exemplos do presente estudo o método gap-graded normalmente é recomendado a situações de alto tráfego, com alta carga pluviometria, por exemplo, corredores de ônibus. Já o processo terminal blend é recomendado para situações de baixo tráfego, vias urbanas, e apresenta baixo poluente.

Rosa et al (2012) apontou em seu estudo, realizado como método ensaio, comprovou que adição de polímeros e borracha reciclada em massa asfáltica garante melhorias em termos das propriedades ligantes, ou seja, a massa asfáltica modificada comparada ao cimento asfáltico convencional apresenta-se melhora das propriedades.

Estudo similar foi realizado pela empresa Greca Asfalto em 2003, a qual construíram duas pistas experimentais, sendo uma com ligante CAP 20 e a outra utilizando asfalto borracha. Para análise foi utilizado ensaio acelerado empregando simulação de tráfego linear, conforme figura abaixo

**Figura 10 – Tabela comparativa revestimento Convencional x revestimento asfalto-borracha - Greca Asfalto, conforme estudo realizado pela Ecoflex (2009).**

GRANDEZAS	CÁLCULO	UNIDADE	TIPO DE ASFALTO		
			CAP 50/70	ASFALTO BORRACHA (ECOFLEX)	
A	Quantidade de massa asfáltica CBUQ produzida	-	ton	26.250	18.375
B	Custo de Usinagem/Aplicação por tonelada de CBUQ aplicado	-	R\$/ton	200,00	230,00
C	Quantidade de massa x Custo de Usinagem/Aplicação	A x B	R\$	5.250.000,00	4.226.250,00
D	Teor de Asfalto	-	% peso	5%	5,5%
E	Custo de Asfalto por tonelada	-	R\$/ton	1.150,00	1.550,00
F	Custo Asfalto no CBUQ	A x D x E	R\$	1.509.375,00	1.566.468,75
G	Custo Total da Obra	C + F	R\$	<b>6.759.375,00</b>	<b>5.792.718,75</b>

Fonte: (ZATARIN, et al. 2017, p. 663).

**Figura 11 - Custo de manutenção + execução de revestimento Convencional x revestimento asfalto-borracha conforme ensaio realizado pela Greca Asfalto: Estudo Ecoflex (2009).**

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\$/m <sup>2</sup>	46,66	77,22
C	Manutenção do pavimento no período de 7 anos	-	% m <sup>2</sup>	70%	10%
D	Custo geral da manutenção do pavimento	-	R\$/m <sup>2</sup>	67,30	67,30
E	Percentual de Custo Manutenção do pavimento	C x D	R\$/m <sup>3</sup>	47,11	6,73
E	Custo de execução + manutenção do pavimento	B + E	R\$/m <sup>2</sup>	<b>93,77</b>	<b>83,95</b>

Fonte: (ZATARIN, et al. 2017, p. 667).

Os resultados apontaram que recapeamento em Asfalto Modificado por Borracha foi superior ao asfalto convencional, onde o método convencional apresentou trincas após 98.000 ciclos de carga de eixo de 10tf, enquanto na AMB as trincas foram observadas após 123.000 ciclos da mesma carga de eixo. Outro processo avaliado foi a análise de custo de um trecho de mais ou menos 30 km.

### 3 ESTUDO DE CASO

O método utilizado para esse estudo foi o comparativo entre dois tipos de pavimentos rodoviários: convencional e asfalto-borracha.

Para confecção da presente pesquisa foi utilizada tabelas de orçamento de obra realizada em fevereiro de 2018 na cidade de Pires do Rio –GO, em diferentes regiões da cidade. Um apontamento que merece ser colchoado é que normalmente asfalto borracha é mais utilizado em obras de recapeamento do que em pavimentação, assim para melhor análise escolheu-se as áreas em que foi feito recapeamento, e a base foi mantida. E para parâmetro de análise buscou-se analisar os materiais envolvidos de forma igual.

Para a avaliação comparativa serão três quesitos analisados:

1) Serviços preliminares que se refere a mobilização e desmobilização; administração local e do canteiro de obras; fornecimento e instalação de placa de identificada da obra de tamanha 3,0 x 1,50m; e serviços topográficos para pavimentação, inclusive nota de serviços, acompanhamento e greide.

2) A pavimentação apresentará especificações de escavação, carga e transporte de material; regularização e compactação de subleito e base até 20cm de espessura; transporte de material de qualquer natureza com caminhão basculante de 4m; imprimação de base de pavimentação com emulsão cm-imprimação; transporte de material asfáltico acima de 50km; pintura de ligação com emulsão LARC; transporte de materiais asfálticos também acima de 50k LARC; fabricação e aplicação de concreto betuminoso usinado a quente; transporte de materiais asfáltico da usina até a pista; transporte comercial com caminhão basculante 6 M3, rodovia pavimentada; e transporte de materiais asfálticos até a pista;

3) Serviços complementares que serão designados nas tabelas como limpeza final da obra.

Os cálculos comparativos serão realizados tendo como base estimativas de percentuais de custos do asfalto convencional x borracha.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos e a discussão sobre os mesmo para fins de compreensão e cumprimento dos objetivos propostos neste trabalho.

Analisando pavimentação em obras de recapeamento realizadas na cidade de Pires do Rio –GO em fevereiro de 2018, tendo está o período de realização de 180 dias, foi apresentado os seguintes custos de serviços preliminares.

**Tabela 4: Serviços preliminares de pavimentação de asfalto – borracha utilizados em obra de recapeamento na cidade de Pires do Rio –GO.**

DISCRIMINAÇÃO	SICRO/C PU	UNI.	QUANT.	VALOR UNIT. S/ BDI	VALOR UNIT. COM BDI	VALOR TOTAL
MOBILIZAÇÃO E DESMOBILIZAÇÃO	CPU	GL	1,00	8.501,00	<b>10.626,25</b>	10.626,25
ADMINISTRAÇÃO LOCAL E MANUTENÇÃO DO CANTEIRO DE OBRAS	CPU	GL	1,00	4.179,00	<b>5.223,75</b>	5.223,75
FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO DE PLACA DE IDENTIFICAÇÃO DA OBRA (3,0 x 1,5 m)	74209/001	M <sup>2</sup>	4,50	236,74	<b>295,93</b>	1.331,66
SERVICOS TOPOGRAFICOS PARA PAVIMENTACAO, INCLUSIVE NOTA DE SERVICOS, ACOMPANHAMENTO E GREIDE	78472	M <sup>2</sup>	77.137,85	0,48	<b>0,60</b>	46.282,71
<b>TOTAL</b>						<b>63.464,37</b>

**Fonte:** Adaptados pelos autores da pesquisa segundo fornecimento de informações da Guerra Empreendimentos e Construtora (2018).

**Tabela 5: Serviços preliminares de pavimentação de asfalto convencional utilizados em obra de recapeamento na cidade de Pires do Rio –GO.**

DISCRIMINAÇÃO	SICRO/C PU	UNI.	QUANT.	VALOR UNIT. S/ BDI	VALOR UNIT. COM BDI	VALOR TOTAL
MOBILIZAÇÃO E DESMOBILIZAÇÃO	CPU	GL	1,00	8.501,00	<b>10.626,25</b>	10.626,25
ADMINISTRAÇÃO LOCAL E MANUTENÇÃO DO CANTEIRO DE OBRAS	CPU	GL	1,00	4.179,00	<b>5.223,75</b>	5.223,75
FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO DE PLACA DE IDENTIFICAÇÃO DA OBRA (3,0 x 1,5 m)	74209/001	M <sup>2</sup>	4,50	236,74	<b>295,93</b>	1.331,66
SERVICOS TOPOGRAFICOS PARA PAVIMENTACAO, INCLUSIVE NOTA DE SERVICOS, ACOMPANHAMENTO E GREIDE	78472	M <sup>2</sup>	6.738,40	0,48	<b>0,60</b>	4.043,04
<b>TOTAL</b>						<b>21.224,70</b>

**Fonte:** Adaptados pelos autores da pesquisa segundo fornecimento de informações da Guerra Empreendimentos e Construtora (2018).

Ao observar as Tabelas 1 e 2 que se referem aos serviços preliminares da obra, analisando sem uma análise mais criteriosa que os nesse quesito as pavimentações asfálticas borracha apresenta-se de maior custo. Mas analisando os subitens pode-se verificar que os serviços topográficos foram o quesito responsável por esse aumento de custos, mas, a quantidade de área analisada desse é bem maior (77.137,85 m<sup>2</sup>) do que a massa asfáltica convencional (6.738,40 m<sup>2</sup>), a qual se tivesse as mesmas quantidades de áreas analisadas os valores seriam iguais. Com isso pode-se concluir que os custos quanto aos serviços preliminares são equivalentes.

O outro critério refere-se à pavimentação, a qual apresentaram os seguintes custos:

**Tabela 6 – Custos de pavimentação de asfalto borracha utilizados em obra de recapeamento na cidade de Pires do Rio –GO.**

DISCRIMINAÇÃO	SICRO/CPU	UNI.	QUANT.	VALOR UNIT. S/ BDI	VALOR UNIT. COM BDI	VALOR TOTAL
ESCAVACAO, CARGA E TRANSPORTE DE MATERIAL DE 1A CATEGORIA COM TRATOR SOBRE ESTEIRAS 305 HP E CACAMBA 5M3, DMT 50 A 200M	74154/001	M³	451,52	4,79	<b>5,99</b>	2.703,45
REGULARIZACAO E COMPACTACAO DE SUBLEITO E BASE ATE 20 CM DE ESPESSURA	72961	M²	2.420,10	1,23	<b>1,54</b>	3.720,90
TRANSPORTE DE MATERIAL DE QUALQUER NATUREZA DMT > 10 KM, COM CAMINHAO BASCULANTE DE 4,0 M3.	83444	M³xKM	451,52	0,74	<b>0,93</b>	417,65
IMPRIMACAO DE BASE DE PAVIMENTACAO COM EMULSAO CM- IMPRIMAÇÃO	72945	M²	2.420,10	2,82	<b>3,53</b>	8.530,85
TRANSPORTE DE MATERIAIS ASFÁLTICOS ACIMA DE 50 KM	83357	TxKM	.603,07	0,82	<b>1,03</b>	1.643,15
PINTURA DE LIGACAO COM EMULSAO LARC	72943	M²	6.738,40	1,89	<b>2,36</b>	15.919,47
TRANSPORTE DE MATERIAIS ASFÁLTICOS ACIMA DE 50 KM (LARC)	83357	TxKM	5.207,44	2,34	<b>2,93</b>	15.231,75
FABRICAÇÃO E APLICAÇÃO DE CONCRETO BETUMINOSO USINADO A QUENTE (ECOFLEX)	72965	T	485,16	256,43	<b>320,54</b>	155.513,51
TRANSPORTE DE MATERIAIS ASFÁLTICOS	83357	TxKM	11.314,04	2,34	<b>2,93</b>	33.093,58

DA USINA ATÉ A PISTA						
TRANSPORTE						
COMERCIAL COM						
CAMINHAO						
BASCULANTE 6 M3,	72887	M³XKM	9.372,61	0,74	<b>0,93</b>	8.669,66
RODOVIA						
PAVIMENTADA. (AREIA,						
BRITA)						
TRANSPORTE DE						
MATERIAIS ASFÁLTICOS	83357	TxKM	60.645,60	2,34	<b>2,93</b>	177.388,38
(ECOFLEX), DA USINA						
ATÉ A PISTA						
<b>TOTAL</b>						<b>422.832,35</b>

**Fonte:** Adaptados pelos autores da pesquisa segundo fornecimento de informações da Guerra Empreendimentos e Construtora (2018).

**Tabela 7: Custos de pavimentação de asfalto convencional utilizados em obra de recapeamento na cidade de Pires do Rio –GO.**

DISCRIMINAÇÃO	SICRO/CP U	UNI.	QUANT.	VALOR UNIT. S/ BDI	VALOR UNIT. COM BDI	VALOR TOTAL
ESCAVACAO, CARGA E TRANSPORTE DE MATERIAL DE 1A CATEGORIA COM TRATOR SOBRE ESTEIRAS 305 HP E CACAMBA 5M3, DMT 50 A 200M	74154/001	M³	363,02	4,79	<b>5,99</b>	2.173,55
REGULARIZACAO E COMPACTACAO DE SUBLEITO E BASE ATE 20 CM DE ESPESSURA	72961	M²	2.420,10	1,23	<b>1,54</b>	3.720,90
TRANSPORTE DE MATERIAL DE QUALQUER NATUREZA DMT > 10 KM, COM CAMINHAO	83444	M³xKM	363,02	0,74	<b>0,93</b>	335,79
BASCULANTE DE 4,0 M3. IMPRIMACAO DE BASE DE PAVIMENTACAO COM EMULSAO CM-30	72945	M²	2.420,10	2,82	<b>3,53</b>	8.530,85
TRANSPORTE DE MATERIAIS ASFÁLTICOS ACIMA DE 50 KM (CM-30)	83357	TxKM	1.603,07	0,82	<b>1,03</b>	1.643,15
PINTURA DE LIGACAO COM EMULSAO RR-2C	72943	M²	6.738,40	1,10	<b>1,38</b>	9.265,30
TRANSPORTE DE MATERIAIS ASFÁLTICOS ACIMA DE 50 KM (RR-2C)	83357	TxKM	5.207,44	0,82	<b>1,03</b>	5.337,62
FABRICAÇÃO E APLICACAO DE	72965	T	485,16	171,82	<b>214,78</b>	104.201,27

CONCRETO BETUMINOSO USINADO A QUENTE(CBUQ),CAP 50/70, EXCLUSIVE TRANSPORTE TRANSPORTE DE MATERIAIS ASFÁLTICOS (CAP 50/70), DA USINA ATÉ A PISTA TRANSPORTE COMERCIAL COM CAMINHAO BASCULANTE 6 M3, RODOVIA PAVIMENTADA. (AREIA, BRITA)	83357	TxKM	11.314,04	0,82	<b>1,03</b>	11.596,89
TRANSPORTE DE MATERIAIS ASFÁLTICOS (CBUQ), DA USINA ATÉ A PISTA	83357	TxKM	60.645,60	0,82	<b>1,03</b>	62.161,74
<b>TOTAL</b>						<b>217.636,72</b>

**Fonte:** Adaptados pelos autores da pesquisa segundo fornecimento de informações da Guerra Empreendimentos e Construtora (2018).

As tabelas 3 e 4 apresentam os custos quanto a materiais utilizados no processo de pavimentação em obras de recapagem na cidade de Pires do Rio –GO a qual observam valores maiores no material de pavimentação utilizados em asfalto borracha na pintura de ligação com emulsão LARC; transporte de materiais asfálticos acima de 50 km LARC; na fabricação e aplicação de concreto betuminoso usinado a quente (ECOFLEX); também custos maiores no quesito transporte de materiais asfálticos da usina até a pista. E, esses quesitos foram responsáveis pelo aumento de 51% de custos, tornando assim a massa asfáltica borracha de custo maior em termos de pavimentação. Por fim, foi analisado os serviços complementares que se referem a limpeza final da obra, a qual nos dois processos tiveram custos iguais de R\$ 11.202,59.

Diante de tais resultados pode-se colocar então que os custos quanto a uma técnica de pavimentação e outra são maiores em asfalto borracha, a qual apresentou valores maiores quanto aos materiais utilizados na pavimentação. Porém não é somente esse critério que deve ser levado em consideração, pois se tiver uma análise quanto a manutenção, e vida útil da massa asfáltica os resultados podem ser outros, ou seja, avaliando custo-benefício seria mais viável asfalto borracha, porém, para tal avaliação requer um trabalho com mais dispêndio de tempo, ficando esse fator sugerido a futuros trabalhos.. Somente assim terá uma conotação maior quanto aos critérios de viabilidade entre asfalto borracha e convencional. Mas diante dos resultados apresentando então pode-se colocar que a pavimentação de asfalto borracha apresenta custo em torno de 51% maior quando comparada a pavimentação asfáltica

convencional, conforme será representado no quadro abaixo quanto a apontamentos de custos entre técnica convencional e massa asfáltica borracha.

**Quadro 02** – Vantagens e desvantagens entre a massa asfáltica convencional e da massa asfáltica borracha

	BORRACHA	CONVENCIONAL
Serviços preliminares	Custos iguais	Custos iguais
Materiais utilizados (pintura/ transporte; fabricação/ aplicação)	Custos maiores	Custos menores
Serviços de limpeza	Custos iguais	Custos iguais
Manutenção	Custos menores	Custos maiores
Vantagens estruturais e ecológicas	Maior	Menor

Fonte: pesquisadores autores (2018)

Observa-se assim como dito anteriormente que a massa asfáltica demonstra-se ainda de mais baixo custo, porém, se analisar outros critérios como manutenção e vantagens estruturais e ecológicas a vantagem e da massa asfáltica borracha. Tais dados vai em conformidade ao estudo de Dias et al (2014) onde apontaram que utilização de Asfalto Modificado por Borracha demonstra-se uma técnica promissora, assim como já foi verificado em obras desenvolvidas no estado de Minas Gerais, as quais apresentam vantagens estruturas e ecológicas, como redução do envelhecimento, baixo custo de manutenção, aumento da flexibilidade.

Masson et al (2017) realizou análise comparativa ao revestimento de asfalto modificado com borracha (Ecoflex) e o de material betuminoso (sem borracha), e através do ensaio observou que o asfalto modificado com borracha apresenta maior rigidez que a do ligante comum, apresenta ainda melhor viscosidade, porém, no seu processo de preparo demanda temperaturas maiores que os ligantes comuns, e isso talvez explica o aumento de custos materiais verificados entre a Tabela 3 e 4.

De acordo com os dados pode-se compreender que a execução ou até mesmo a obtenção da matéria prima é mais dispendiosa que a massa asfáltica convencional, porém, diante da sua baixa necessidade de manutenção ao longo do tempo, sua viabilidade econômica se torna promissora.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo então comparou dois métodos diferentes de pavimentação, utilizando como referência obras realizadas na cidade de Pires do Rio – GO em fevereiro de 2018, a qual utilizou de massa asfáltica borracha e massa asfáltica convencional, e claro, diante de serem técnicas diferentes, normal que apresentasse custos de materiais diferentes, mas para método de comparação avaliou-se somente os valores investidos.

Quanto às vantagens do asfalto – borracha, pode-se verificar em termos de custo benefício, devido ao seu baixo custo de manutenção e diminuição de trincas em trechos que baixo tráfego, além de apresentar viabilidade ambiental e econômica, devido reaproveitamento de pneus que antes seriam dispensados ao meio ambiente ou que não teriam qualquer utilidade. Os fatores que colaboram para resistência de envelhecimento do asfalto borracha refere-se a quantidade de aditivo adicionada ao ligante que ocasiona uma maior interação da borracha com o ligante, o que dá continuidade ao processo de fusão ao asfalto e proporciona maior reticulação das macromoléculas de borracha, ocasionada pelos agentes vulcanizantes presentes nas borrachas de pneus. As cadeias cruzadas dessa reticulação protegem a interação da borracha com o asfalto, mesmo após o envelhecimento do ligante durante a usinagem.

Quanto aos custos pode-se observar custo maior, principalmente no quesito de materiais utilizados no processo de pavimentação, porém, diante ainda da baixa utilização desse material no estado de Goiás, não se tem como ter uma abordagem mais clara quanto a custos de mão de obra e vida útil, ficando assim sugestão para futuros trabalhos. Mas diante de estudos utilizados na confecção desse material, há evidência científica que asfalto borracha comparada a convencional apresenta-se viável economicamente devido seu baixo custo de manutenção e de resistibilidade. Quanto ao tempo, pode-se observar que foi igual nas duas técnicas.

Pode-se ainda colocar a necessidade de maiores investimentos na utilização de materiais alternativos e que de alguma forma já apresentam comprovação científica de sua viabilidade, até porque os gastos com pavimentação no Brasil são dispendiosos, e buscar alternativas mais viáveis, colaboraria positivamente nos cofres públicos e em termos de qualidade dos serviços oferecidos a população, pois, atualmente a malha rodoviária é responsável pelo tráfego de inúmeros veículos todos os dias no país.

Pode-se concluir assim que o uso de borracha granulada como reforço de asfalto tem demonstrado solução inteligente e colaborante para o desenvolvimento sustentável a qual reutiliza materiais que antes seriam descartados, além de ser um material polimérico alternativo para melhorar as propriedades de desempenho do asfalto.

## REFERÊNCIAS

BERNUCCI, Liedi Bariani. **Pavimentação asfáltica: Formação básica para Engenheiro**. Rio de Janeiro: Petrobras, 2008. Capítulos. 4, 5 e 8.

CATAPRETA, Cícero Antônio; ZAMBIASI, Clarissa Ana; LOYOLA, Letícia Aparecida de Jesus. **Uso da borracha de pneus na pavimentação como uma alternativa ecologicamente viável**. VII Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental Campina Grande/PB – 21 a 24/11/2016.

CNT – **Confederação Nacional dos Transportes**. Pesquisa Rodoviária, 2007.

CORDEIRO, Willian Rubbioli; PINTO, Salomão. **Algumas considerações sobre asfalto modificado por borracha de pneus**. In: **Pavimentação asfáltica: conceitos fundamentais sobre materiais e revestimentos asfálticos**. 1 ed Rio de Janeiro: LTC, 2018.

DIAS, Alvaro José; PAULA, Aline Brito de; FRANCO NETO, Geraldo Gouveia; BERNADES, Matheus Sousa. **O Uso de Borracha em Ligantes Asfálticos para Pavimentação de Rodovias no estado de Minas Gerais**. 8º EnTec – Encontro de Tecnologia da UNIUBE / 28 a 30 de outubro de 2014.

DNER, Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **Misturas betuminosas à quente – Ensaio Marshall, Método de Ensaio**, DNER – ME 043/95, Rio de Janeiro, 1995.

DNIT, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **DNIT 150/2010 ES – Pavimentação asfáltica – Lama asfáltica**, Rio de Janeiro, 2010.

DNIT, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Manual de Pavimentação**, Publicação IPR – 719 Rio de Janeiro, 2006.

GRECA ASFALTOS. **Fatos & Asfaltos, Informativo quadrimestral**, ano 8, nº 24 de Outubro, 2011.

MARQUES, Geraldo L. de O. **Utilização do módulo de resiliência como critério de dosagem de mistura asfáltica; efeito da compactação por impacto e giratória**. Rio de Janeiro, 2007.

MARQUES, Geraldo Luciano De Oliveira. **Pavimentação**. Versão 06.2, Universidade de Juíz de Fora, (UFJF), Faculdade de Engenharia, p. 169 – 185, 2007.

MASSON, Terezinha Jocelen; MIRANDA, Leila Figueiredo; CUNHA; Felipe Meller; ALMEIDA, Luis Felipe Pires; CAMARGO, Marcella Cristina Ribeiro de; MUNHOZ JUNIOR, Antonio Hortencio. **Asfalto-Borracha: Incorporação de Pneus**. XVII Safety, Health and Environment World Congress. Portugal. vol 09, n. 12, jul, 2017,

PINTO, Salomão; PINTO, Isaac Eduardo. **Pavimentação asfáltica: conceitos fundamentais sobre materiais e revestimentos asfálticos**. 1 ed Rio de Janeiro: LTC, 2018.

ROHDE, Luciana. **Estudo de misturas asfálticas de módulo elevado para camadas estruturais de pavimentos**. Tese para doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007. 57e 58 p.

ROSA, Ana Paula Gonçalves; SANTOS, Roberto Aguiar dos; CRISPIM, Flavio Alessandro; RIVA, Rogério Dias Dalla. **Análise comparativa entre asfalto modificado com borracha reciclada de pneus e asfalto modificado com polímeros**. Teoria e Prática na Engenharia Civil, n.20, p.31-38, Novembro, 2012

SALINI, Reus Bortolotto. **Utilização de Borracha Reciclada de Pneus em Misturas Asfálticas**. Florianópolis, 120p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, 2000.

SAMPAIO, E.A.N. **Análise da viabilidade técnica do uso de borracha de pneus inservíveis como modificadores de asfaltos produzidos por refinarias do Nordeste** – Unifacs, Salvador, 2005.

SILVA, Rodolfo Gonçalves Oliveira. **Estudo laboratorial do desempenho mecânico de misturas asfálticas com resíduos industriais de minério de ferro**. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Ouro Preto - UFOP, Ouro Preto, 2010. 10p.

SPECHT, Luciano Pivoto. **Avaliação de Misturas Asfálticas com Incorporação de Borracha Reciclada de Pneus**. Tese de Doutorado – Porto Alegre: PPGEC/UFRGS, 2004

TAKALLOU, H.B.; SAINTON, A. **Advances in technology of asphalt paving materials containing used tire rubber**. Transp. Res. Rec., Washington, D.C., n.1339, p.23-29, 1992

VASCONCELOS, Kamila Lima; SOARES, Jorge Barbosa. **Influência da densidade máxima teórica na dosagem de misturas asfálticas**. In: Reunião Anual De Pavimentação. Curitiba, vol 36, n. 1, 2005.

WICKBOLDT, V. S. **Ensaio Acelerados de Pavimentos para Avaliação de Desempenho de Recapeamentos Asfálticos** – Dissertação de Mestrado – PPGEC/UFRGS. 134p. 2005.

ZAGONEL, Ana Regina. **Inovações em revestimentos asfálticos utilizados no Brasil**. Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Civil. Curso de Engenharia Civil. jul, 2013.

ZATARINI, Ana Paula Machado; SILVA, André Luiz Ferreira; ANEMAM, Lehi dos Santos; BARROS, Marcos Roberto de; CHRISOSTOMOS, Walbert. **Viabilidade da pavimentação com asfalto borracha**. Revista Gestão Sustentável Ambiental. Florianópolis, v. 5, n. 2, p. 649-674, out.2016/mar. 2017.