

UNIEVANGÉLICA

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**ANNGELITA SOUSA DA SILVA
VANESSA PROCKSCH MARQUES**

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE O CBUQ
CONVENCIONAL E O CBUQ COM ADIÇÃO DO PÓ DE
BORRACHA**

ANÁPOLIS / GO

2018

**ANNGELITA SOUSA DA SILVA
VANESSA PROCKSCH MARQUES**

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE O CBUQ
CONVENCIONAL E O CBUQ COM ADIÇÃO DO PÓ DE
BORRACHA**

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

**ORIENTADOR: GLEDISTON NEPOMUCENO COSTA
JUNIOR**

ANÁPOLIS / GO: 2018

FICHA CATALOGRÁFICA

SOUSA SILVA, ANNGELITA / MARQUES, VANESSA PROCKSCH

Estudo Comparativo entre o CBUQ convencional e CBUQ com adição do pó de borracha

75 p, 297 mm (ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 2018).

TCC - UniEvangélica

Curso de Engenharia Civil.

1. Asfalto borracha
3. Pneus inservíveis
I. ENC/UNI

2. Borracha de pneu
4. Pavimentação asfáltica
II. Título (Série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

SOUSA SILVA, Anngelita; MARQUES, Vanessa Procksch. Estudo Comparativo entre o CBUQ convencional e CBUQ com adição do pó de borracha. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEvangélica, Anápolis, GO, 2018.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Anngelita Sousa da Silva

Vanessa Procksch Marques

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: Estudo Comparativo entre o CBUQ Convencional e o CBUQ Modificado com Adição do Pó de Borracha

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.



Anngelita Sousa da Silva

E-mail: anngelita_12@hotmail.com



Vanessa Procksch Marques

E-mail: deniseprocksch@hotmail.com

**ANNELITA SOUSA DA SILVA
VANESSA PROCKSCH MARQUES**

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE O CBUQ
CONVENCIONAL E O CBUQ MODIFICADO COM ADIÇÃO
DO PÓ DE BORRACHA**

**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:



**GLÉDISTON NEPOMUCENO COSTA JUNIOR, Mestre (UniEvangélica)
(ORIENTADOR)**



**AURÉLIO CAETANO FELICIANO, Especialista (UniEvangélica)
(EXAMINADOR INTERNO)**



**WANESSA MESQUITA GODOI QUARESMA, Mestre (UniEvangélica)
(EXAMINADOR INTERNO)**

DATA: ANÁPOLIS/GO, 05 de JUNHO de 2018

AGRADECIMENTO

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me guiado durante toda a jornada acadêmica, e ter sido fonte de força para vencer todos os obstáculos.

A minha família, em especial minha mãe Élide Regina S. da Silva, minha avó Carmelita M. de Sousa e meu avô Pedro C. Dias da Silva, que durante toda a minha vida me mostraram os melhores caminhos sempre com muito amor, apoio, compreensão e não mediram esforços para que eu buscasse meus sonhos e sempre me apoiaram.

Ao meu namorado, por toda a paciência, apoio e companheirismo, dedicação e compreensão.

A todos os meus amigos, que sempre me apoiaram da melhor forma, as amizades que construí na universidade que me proporcionaram bons momentos e muitas histórias.

Ao Glediston N. Costa Junior, orientador, pela atenção fornecida durante todo o trabalho.

A Construtora Trade e seus funcionários que não mediram esforços para a realização dos ensaios laboratoriais.

A Renov Tipler pelo fornecimento da Borracha moída.

E por fim, a todos que de alguma forma participaram e fizeram parte de toda esta jornada.

AGRADECIMENTO

Agradeço primeiramente a Deus, por sempre ter abençoado minha caminhada até aqui, me dando saúde e força para enfrentar as batalhas diárias.

Aos meus pais, José S. Marques e Denise Procksch toda a gratidão por terem me impulsionado a realizar meu sonho, por toda a dedicação e por todas as vezes que pensei em desistir e eles com suas sábias palavras me colocaram no caminho certo novamente, todo amor do mundo por vocês.

Obrigada também aos meus amigos e colegas que foram minha segunda família e me receberam tão bem em uma cidade que quando cheguei não conhecia ninguém e agora tenho pessoas que levarei para a vida inteira, esses cinco anos serão lembrados com muito carinho.

Um agradecimento especial à construtora Trade e seus funcionários que foram sempre prestativos e nos deram apoio no que foi preciso para que concluíssemos este trabalho.

Ao nosso orientador sempre prestativo e eficiente que apoiou nosso projeto desde a época que era apenas uma ideia. Meu muito obrigada a todos.

Vanessa Procksch Marques

RESUMO

Devido ao grande número de veículos, o Brasil está enfrentando dois grandes problemas, primeiro as más condições de grande parte das rodovias e em segundo, a enorme quantidade de pneus inservíveis que são descartados e ficam inutilizados. Muitos pesquisadores e empresas construtoras de asfalto estão à procura de novas formas de aumentar a resistência e a vida útil das malhas viárias, uma estratégia que está sendo bastante utilizada é a incorporação do pó de borracha no ligante asfáltico. Este trabalho tem como objetivo comparar o asfalto convencional com o asfalto com adição de pó de borracha ao ligante, tanto via seca quanto via úmida. Para a realização do mesmo foi realizado um levantamento bibliográfico, em que foi estudado sobre a história do asfalto borracha, desde que ano ele vem sendo aplicado, qual o melhor procedimento a ser utilizado, como o uso dos pneus inservíveis nesse processo tem trago melhoras na questão ambiental e suas vantagens e desvantagens. Foi realizada uma visita em uma construtora e feito o acompanhamento de uma usinagem de CBUQ convencional, para um melhor entendimento de como é o funcionamento na prática e em grande escala. No laboratório foram produzidos ensaios de granulometria e o ensaio Marshall que comparou corpos de prova do CAP modificado com a borracha e com o CAP normal nas porcentagens de 4; 4,5 e 5 % de composto asfáltico de petróleo no traço, e em seguida foram comparados os resultados e elaborada a conclusão que evidencia que a incorporação da borracha traz resultados positivos, como maior flexibilidade e durabilidade.

Palavras-chave: Asfalto borracha. Asfalto convencional. Pó de borracha. Pneus inservíveis.

ABSTRACT

Due to the large number of vehicles, Brazil is facing two major problems, first the bad conditions of most of the highways and secondly, the huge amount of waste tires that are discarded and rendered useless. Many researchers and asphalt builders are looking for new ways to increase the strength and useful life of road networks, a strategy that is being widely used is the incorporation of rubber powder in the asphalt binder. This work aims to compare conventional asphalt with asphalt with addition of rubber powder to the binder, both dry and wet. For the accomplishment of the same one was carried out a bibliographical survey, in which it was studied on the history of the rubber asphalt, since that year it has been applied, what is the best procedure to be used, as the use of the waste tires in this process has improved improvements in and its advantages and disadvantages. A visit to a construction company was carried out and the follow-up of a conventional CBUQ machining was carried out, for a better understanding of how it works in practice and on a large scale. In the laboratory were produced granulometry tests and the marshall test that compared test pieces of the modified CAP with the rubber and with the normal CAP in the percentages of 4; 4.5 and 5% of petroleum asphalt compound in the trace, and then compared the results and elaborated the conclusion that evidences that the incorporation of the rubber brings positive results, such as greater flexibility and durability.

Keywords: Asphalt rubber. Conventional asphalt. Rubber powder. Unusable tires.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1 - Camadas do pavimento asfáltico	17
Figura 2.2 - Seção longitudinal da estrutura de Concreto Cimento.....	18
Figura 2.3 - Estrutura de pavimento tipo de concreto.....	18
Figura 2.4 - Seção transversal da estrutura de um pavimento flexível.....	19
Figura 2.5 - Figura pneus descartados no meio ambiente.....	27
Figura 2.6 - Processo criogênico para obtenção da borracha granulada de pneus.....	29
Figura 2.7 - Equipamento de moagem a frio de pneus.....	29
Figura 2.8 - Processo de fabricação do asfalto borracha via úmida.....	31
Figura 3.1 - Central de controle.....	33
Figura 3.2 - Central de controle manual.....	34
Figura 3.3 - Baias de armazenagem dos agregados.....	34
Figura 3.4 - Esteiras.....	35
Figura 3.5 - Misturador externo e armazenagem.....	35
Figura 3.6 - CAP no estado bruto no local de abastecimento.....	36
Figura 3.7 - Tanques onde ficam armazenados o CAP.....	36
Figura 3.8 - Carregamento do CBUQ.....	37
Figura 3.9 - Peneiramento da borracha moída de pneu em peneira granulométrica.....	38
Figura 3.10 - Pó de Borracha após o peneiramento.....	39
Figura 3.11 - Agregados.....	41
Figura 3.12 - CAP no Estado Líquido.....	41
Figura 3.13 - Adição do pó de borracha ao CAP.....	42
Figura 3.14 - CAP com o pó de borracha dissolvido.....	42
Figura 3.15 - Pesagem do material.....	43
Figura 3.16 - Controle de temperatura das misturas.....	44
Figura 3.17 - Preenchimento do molde de compactação.....	44
Figura 3.18 - Compactação do corpo de prova.....	45
Figura 3.19 - Desforma dos corpos de prova.....	45
Figura 3.20 - Pesagem do corpo de prova ao ar.....	46
Figura 3.21 - Pesagem do corpo de prova submerso.....	46
Figura 3.22 - Corpos de prova em banho-maria.....	47
Figura 3.23 - Prensa Marshall.....	48
Figura 4.1 - Trecho Anchieta/Imigrantes São Paulo – SP.....	62

Figura 4.2 - Trecho Copacabana e Aterro do Flamengo Rio de Janeiro – RJ.....	62
Figura 4.3 - Rodovia Euclides da Cunha/Sp-320 – SP.....	63
Figura 4.4 - Stock Car Etapa de Ribeirão Preto – SP.....	63
Figura 4.5 - Boulevard Belo Horizonte – MG.....	64
Figura 4.6 - Beira Mar Norte, Florianópolis – SC.....	64
Figura 4.7 - Oriximiná, Pará – PA.....	65
Figura 4.8 - Rodovia SC- 478, Timbá Grande – SC.....	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Primeira aplicação de SMA em países da Europa e da América do Norte.....	23
Tabela 3.1 - Composição granulométrica da mistura.....	40
Tabela 3.2 - Resultados ensaio Marshall Asfalto borracha CAP à 4%.....	49
Tabela 3.3 - Resultados ensaio Marshall Asfalto borracha CAP à 4%.....	49
Tabela 3.4 - Resultados ensaio Marshall Asfalto convencional CAP à 4%.....	50
Tabela 3.5 - Resultados ensaio Marshall Asfalto convencional CAP à 4%.....	50
Tabela 3.6 - Resultados ensaio Marshall Asfalto borracha CAP à 4,5%.....	51
Tabela 3.7 - Resultados ensaio Marshall Asfalto borracha CAP à 4,5%.....	51
Tabela 3.8 - Resultados ensaio Marshall Asfalto convencional CAP à 4,5%.....	52
Tabela 3.9 - Resultados ensaio Marshall Asfalto convencional CAP à 4,5%.....	52
Tabela 3.10 - Resultados ensaio Marshall Asfalto borracha CAP à 5%.....	53
Tabela 3.11 - Resultados ensaio Marshall Asfalto borracha CAP à 5%.....	53
Tabela 3.12 - Resultados ensaio Marshall Asfalto convencional CAP à 5%.....	54
Tabela 3.13 - Resultados ensaio Marshall Asfalto convencional CAP à 5%.....	54
Tabela 3.14 - Comparativo de Vazios entre os tipos de asfaltos analisados.....	55
Tabela 3.15 - Comparativo de Vazios entre os tipos de asfaltos analisados.....	55
Tabela 3.16 - Comparativo de Vazios entre os tipos de asfaltos analisados.....	55
Tabela 3.17 - Comparativo de Estabilidade entre os tipos de asfaltos analisados.....	56
Tabela 3.18 - Comparativo de Estabilidade entre os tipos de asfaltos analisados.....	56
Tabela 3.19 - Comparativo de Estabilidade entre os tipos de asfaltos analisados.....	56
Tabela 3.20 - Comparativo de Fluência entre os tipos de asfaltos analisados.....	56
Tabela 3.21 - Comparativo de Fluência entre os tipos de asfaltos analisados.....	57
Tabela 3.22 - Comparativo de Fluência entre os tipos de asfaltos analisados.....	57

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 2.1 – Produção de pneus	25
Gráfico 3.1 – Gráfico da granulometria da mistura.....	40

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AASHTO - American Association of State Highway and Transportation Officials

AB – Asfalto Borracha

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANIP - Agência Nacional da Indústria de Pneumáticos

ANP – Agencia Nacional de Petróleo, Gás e Biocombustíveis

ARTESP – Agencia de Transporte do Estado de São Paulo

CAP – Cimento Asfáltico de Petróleo

CBUQ – Concreto Betuminoso Usinado a Quente

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

CTF – Supremo Tribunal Federal

CENPES - Centro de Pesquisas Leopoldo Américo Miguez de Mello

DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem

DNIT - Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes

EUA – Estados Unidos da América

EVA - Etil Vinil Acetato

FHWA – Federal Highway Administration Research and Technology

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente

NAPA- National Asphalt Pavement Association

NBR – Norma Brasileira

SBS - Estireno Butadieno Estireno

SMA - Stone Matrix Asphalt

SBS - Estireno Butadieno Estireno

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	14
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS E JUSTIFICATIVA	14
1.2 OBJETIVOS	15
1.2.1 OBJETIVO GERAL.....	15
1.2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	15
1.3 METODOLOGIA	15
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	15
2 REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1 PAVIMENTO	17
2.2 MISTURAS ASFÁLTICAS	19
2.2.1 Concreto asfáltico.....	19
2.3 DOSAGEM MARSHALL.....	20
2.4 LIGANTES ASFÁLTICOS	21
2.4.1 Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP).....	21
2.5 ASFALTO DE BORRACHA	21
2.5.1 Histórico	21
2.5.2 Asfalto de borracha no mundo	22
2.5.3 Asfalto de borracha no Brasil.....	24
2.6 PNEUS INSERVÍVEIS	24
2.6.1 Obtenção da borracha moída.....	27
2.6.1.1 Moagem Criogênica.....	28
2.6.1.2 Moagem a frio.....	29
2.6.1.3 Regeneração	30
2.6.2 Processo do asfalto borracha via úmida	30
2.6.3 Processo do asfalto borracha via seca	31
3 PROCEDIMENTOS DOS ENSAIOS.....	33
3.1 USINAGEM DE CBUQ CONVENCIONAL	33
3.2 ENSAIOS.....	38
3.2.1 Coleta e peneiramento da borracha	38
3.2.2 Determinação e granulometria dos agregados.....	39
3.2.3 Incorporação do pó de borracha ao CAP.....	41
3.2.4 Confeção dos corpos de prova.....	43
3.2.5 Ensaio Marshall.....	46

3.2.6	Comparação e análise dos resultados	55
4	VIABILIDADE ECONÔMICA DO ASFALTO DE BORRACHA.....	58
4.1	VANTAGENS	58
4.2	DESVANTAGENS.....	59
4.3	CUSTO BENEFÍCIO.....	59
4.4	DURABILIDADE	61
4.5	TRABALHOS REALIZADOS COM ASFALTO BORRACHA	62
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	66
5.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	66
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	67

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS E JUSTIFICATIVA

Com o passar dos anos houve um aumento descontrolado de automóveis, dentre algumas consequências negativas se destacam: o alto desgaste da pavimentação asfáltica de pouca qualidade e a deterioração do meio ambiente através do descarte impróprio de pneus inservíveis. As estradas brasileiras encontram-se em uma situação precária devido a falta de manutenção, a sobrecarga de caminhões, a má execução e a utilização de materiais de má qualidade, o que acaba reduzindo a vida útil do asfalto.

O principal objetivo de se asfaltar uma via é garantir a passagem de veículos independente da época do ano e das condições climáticas, e assegurar aos usuários conforto durante o tráfego e segurança. Visto que o solo natural não consegue suportar a recorrência de cargas de roda sem que haja deformações, torna-se indispensável a construção de um pavimento resistente, que é construído sobre o subleito para resistir ao peso dos veículos de maneira a transferir as solicitações às várias camadas e ao subleito, reduzindo as tensões e as deformações de modo a assegurar um desempenho satisfatório da via, por um prolongado período de tempo (Croney,1977).

É possível verificar em vários pavimentos, que em pouco tempo de utilização já começam a apresentar defeitos na superfície de rolamento, esses defeitos geram desconforto e colocam a segurança dos usuários em risco. Acúmulo de deformação nas trilhas de roda e trincas por fadigas. A baixa resistência ao cisalhamento das misturas asfálticas é um dos motivos da alta ocorrência da deformação permanente nas trilhas de roda, que se baseiam na vulnerabilidade térmica do ligante asfáltico e da estrutura dos agregados minerais (Neves Filho, 2004).

O asfalto borracha vem sendo utilizado no Brasil desde o ano de 2001, porém em pequena quantidade quando comparado a grande malha rodoviária brasileira, por ter um custo inicial mais alto se comparado com o asfalto convencional, por outro lado a introdução do pó de borracha como ligante aumenta em até 40% a vida útil do asfalto, aumentando a flexibilidade e durabilidade do produto final, reduzindo assim os custos de manutenções periódicas e retirando da natureza milhões de toneladas de pneus velhos, antes sem nenhuma utilidade.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GERAL

O trabalho tem como objetivo geral o estudo da implantação do asfalto borracha nas rodovias brasileiras. Será analisado o custo de execução e manutenção, e a viabilidade de se fazer a substituição do asfalto convencional pelo asfalto borracha.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Analisar o custo benefício do asfalto borracha;
- Verificar a durabilidade do asfalto borracha;
- Fabricar corpos de prova para serem analisados no ensaio Marshall;
- Comparar resultados do asfalto convencional e do asfalto borracha.

1.3 METODOLOGIA

O trabalho tem como princípio que a adição do pó de borracha como ligante na mistura asfáltica amplia a durabilidade do asfalto, como resultado reduz significativamente o gasto com manutenção no trecho.

Será efetuado inicialmente um levantamento bibliográfico abordando assuntos relacionados a execução de pavimentos com asfalto borracha. Encontram-se inerentes nesse trabalho assuntos como: descarte de pneus, utilização da borracha moída de pneus reciclados, ligantes asfaltos, levantamento de custos e análise de vantagens e desvantagens do uso do AB.

Em seguida será realizado estudos para experimentos e ensaios com a adição do pó de borracha como ligante, os corpos de prova serão rompidos para analisar a resistência e durabilidade do experimento e comparar com o asfalto convencional.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está estruturado em cinco capítulos:

Capítulo 1- Introdução e justificativa: Este capítulo apresenta uma justificativa do tema a ser estudado, os objetivos e uma introdução de como será apresentado o trabalho.

Capítulo 2 – Referencial teórico: Contém a estrutura de um asfalto convencional, aborda o assunto do descarte inadequado de pneus inservíveis e em ênfase está a história do asfalto borracha.

Capítulo 3 – Procedimento dos ensaios: Detalha a visita da usinagem do CBUQ e demonstra os métodos dos ensaios que foram realizados no laboratório, em seguida são apresentados e comparados os resultados.

Capítulo 4 – Viabilidade econômica do asfalto borracha: Apresenta as vantagens e desvantagens do uso do asfalto borracha e aborda a viabilidade e durabilidade da sua aplicação.

Capítulo 5 – Considerações finais: É apresentada a conclusão do conhecimento adquirido com a realização do trabalho e fica evidente se o procedimento será bem aceito ou não com o passar dos anos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

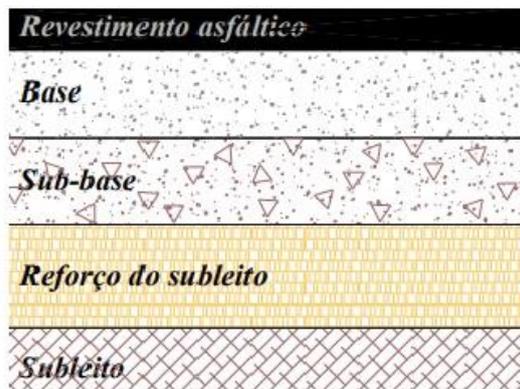
2.1 PAVIMENTO

Segundo Bernucci *et al.* (2008), foram os egípcios os responsáveis pela construção das estradas mais antigas pavimentadas, pois necessitavam de mais facilidade no transporte de materiais para construir as pirâmides, onde eram posicionados lajões justapostos em base com boa capacidade de sustentação.

Hoje em dia há vários tipos de pavimentos, com capacidades destinadas a variados tipos de transporte.

Conforme Bernucci *et al.* (2008), entende-se que um pavimento é composto de diversas camadas de espessuras determinadas, construída sobre uma superfície final após a terraplanagem, conforme na figura 2.1.

Figura 2.1 – Camadas do Pavimento Asfáltico.



Fonte: <http://www.dtt.ufpr.br/Pavimentacao/Notas/MOdu%201%20-%20Introducao.pdf>

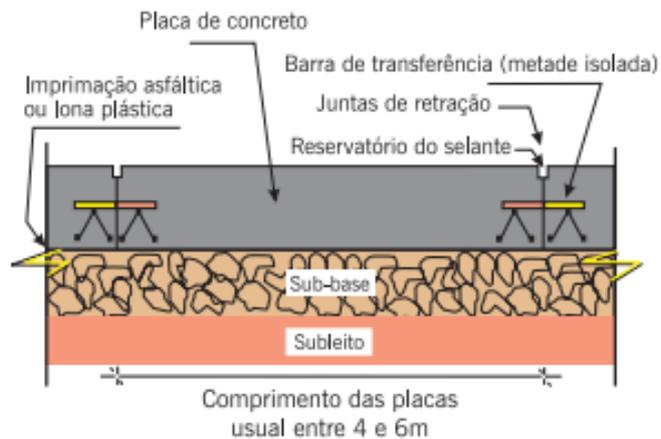
Para Bernucci *et al.* (2010) o revestimento asfáltico é o responsável por resistir de modo direto a circulação dos veículos e conduzir às camadas abaixo os esforços de maneira atenuada, impermeabilizar o pavimento e melhorar o rolamento gerando o conforto e a segurança de quem trafegar pela via.

Os pavimentos rígidos rompem por tração na flexão quando requisitados por cargas e deformações pois apresentam baixo índice de deformidade. (SENÇO, 2007).

Recentemente virou tendência usar-se a terminologia pavimentos de concreto de cimento Portland (concreto-cimento) e pavimentos asfálticos, para indicar o tipo de revestimento do asfalto (BERNUCCI *et al.*, 2008).

As pavimentações de concreto-cimento são aquelas em que a cobertura é uma placa de concreto de cimento Portland, sendo elas armadas ou não com barras de aço, conforme visto figura 2.2 e 2.3, já os pavimentos asfálticos são uma mistura de agregados e ligantes asfálticos, formado por quatro camadas principais: base, sub-base e reforço do subleito, ilustrado na figura 2.3 (BERNUCCI *et al*, 2010).

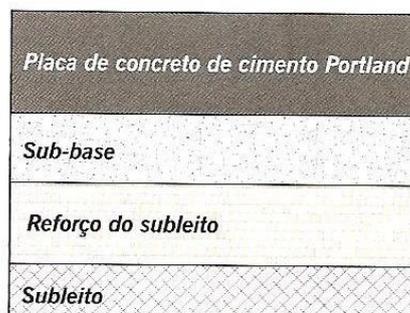
Figura 2.2 – Seção longitudinal da estrutura de Concreto Cimento.



Fonte: Adaptado de Bernucci *et al* (2010).

Os pavimentos asfálticos são uma mistura de agregados e ligantes asfálticos, compostos por quatro principais camadas: base, sub-base e reforço do subleito. (BERNUCCI *et al*, 2010).

Figura 2.3 - Estrutura de pavimento tipo de concreto.



Fonte: Bernucci *et al*. (2008)

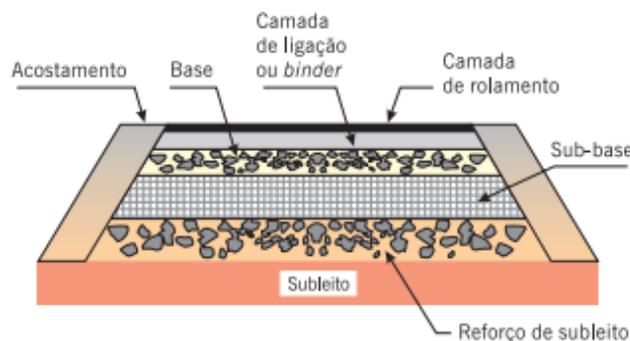
O Manual de pavimentação do DNIT (2006) classifica os pavimentos em flexíveis, semirrígidos e rígidos. Os flexíveis sofrem deformações elásticas em todas as camadas e a carga

se distribui entre as camadas, já os semirrígidos é uma base cimentada com algum aglutinante com propriedades cimentícias, o rígido dispõe de uma alta rigidez em relação as outras camadas e por isso absorve praticamente todas as tensões.

O mais utilizado hoje em dia são os pavimentos flexíveis, Senço (2007) os determina como aqueles que, até certo limite, as deformações não levam a ruptura.

Segundo Bernucci *et al.* (2008), os pavimentos flexíveis, em geral, são relacionados aos pavimentos asfálticos, geralmente são formados pelo revestimento (camada superior) compostos por materiais granulares, solos ou misturas de solos não contendo agentes cimentantes, que fica acima da camada de base, sub base e reforço do subleito. A figura 2.4 Ilustra a estrutura de um pavimento flexível.

Figura 2.4 – Seção transversal da estrutura de um pavimento flexível



Fonte: Adaptado de Bernucci *et al.* (2010).

2.2 MISTURAS ASFÁLTICAS

2.2.1 Concreto asfáltico

Concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ), conhecido popularmente como concreto asfáltico, é a mistura mais utilizada no Brasil, sendo definido como a junção de cimento asfáltico e agregados de diferentes tamanhos que são aquecidos a uma determinada temperatura, em função da propriedade viscosidade-temperatura do ligante. Uma pequena alteração nas características do teor de ligante asfáltico pode levar a problemas de deformação por fluência e exsudação ou atenuação da mistura e da resistência à aparecimento de trincas (BERNUCCI *et al.* 2008).

Na execução, quando possuir duas ou mais camadas de revestimentos, a camada superficial recebe a nomenclatura de capa de rolamento e a camada abaixo é chamada de blinder ou camada de ligação. O concreto asfáltico pode incumbir-se de duas funções, são elas: função de regular ou de nivelar (reperfilagem) (BALDO, 2007).

A quantidade de ligante asfáltico deve ser o suficiente para cobrir os agregados e completar os vazios, pois a mistura precisa contar com vazios em torno de 3 a 5% de ar após a compactação, para camada de rolamento (revestimento em contato direto com os pneus dos veículos), e para camadas de ligação ou intermediárias (camada subjacente a de rolamento) de 4 a 6 %. Se não for dada a devida atenção ao controle do índice de vazios, as misturas asfálticas deformam-se consideravelmente por fluência, e deixam de ser regulares à circulação de veículos (BERNUCCI *et al.*, 2008).

2.3 DOSAGEM MARSHALL

No Brasil a maior parte dos projetos de misturas asfálticas é realizado pela metodologia Marshall, preconizado no Brasil pela norma DNER-ME 043/95. Esse método foi idealizado no transcorrer da segunda guerra mundial como um método para efeito da determinação da quantidade de ligante e de agregados que deveria ser usada na composição de mistura betuminosas, capaz de suportar às cargas de roda e pressão de aeronaves (BERNUCCI *et al.*, 2008).

O ensaio Marshall estabelece a fluência e estabilidade de misturas betuminosas. A norma DNER-ME 043/95 explica que a estabilidade Marshall é a resistência máxima à compressão radial expressa pelo corpo de prova, e a fluência Marshall é a deformação total relatada pelo corpo de prova desde a carga inicial até a carga máxima expressa em décimos de milímetro. O ensaio é dividido em duas etapas, a primeira resume-se na elaboração do corpo de prova e determinação do volume de vazios, volume de betume e volume de asfalto. Na segunda etapa é feita a compressão do corpo de prova para estabelecer a estabilidade e fluência.

Na dosagem de misturas asfálticas do método Marshall são considerados os seguintes parâmetros: Granulometria; densidade aparente da mistura; densidade máxima teórica da mistura; porcentagem de vazios da mistura; porcentagem de vazios do agregado mineral; relação betume vazios; estabilidade; fluência.

2.4 LIGANTES ASFÁLTICOS

2.4.1 Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP)

Os Cimentos Asfálticos de Petróleo são obtidos a partir de processamentos de refinamento do petróleo cru. São materiais que apresentam uma grande quantidade de betume (hidrocarbonetos não voláteis pesados), com cor escura, muito viscoso e agindo como ligante, de consistência sólida a semissólida em temperatura ambiente (BALBO, 2007).

O CAP, é um produto obtido na profundidade da torre de destilação a vácuo, de acordo com as especificações brasileiras. À temperatura ambiente é semissólido e precisa ser aquecido para adquirir a consistência correta para serem incorporados com os agregados. São flexíveis, impermeáveis, aglutináveis e resistentes a ação da maioria de ácidos, sais e álcalis (DNER, 1996).

Segundo Mothé (2009) a classificação dos cimentos asfálticos de petróleo se dá pelo seu “grau de dureza” apresentado no ensaio de penetração ou pela sua viscosidade. A penetração é a profundidade, em décimos de milímetro, sob condições especificadas de carga, tempo e temperatura, que uma agulha padronizada penetra em uma amostra de volume padronizado de cimento asfáltico. Quanto menor a penetração, “mais duro” é o cimento asfáltico. Sua classificação, de acordo com DNIT 095 (2006), é relacionada à sua penetração, podendo ser: CAP 30/45, CAP 50/70, CAP 85/100 e CAP 150/200.

2.5 ASFALTO DE BORRACHA

2.5.1 Histórico

Após um pequeno período de tempo é possível verificar trincas que começam a surgir na superfície de rolamento, devido a tal problema viu-se a possibilidade de melhorar o revestimento asfáltico com o pó da borracha moída. Ela proporciona uma maior flexibilidade, elevado a resistência da mistura asfáltica ao desgaste, ao surgimento de trilhas de rodas, reduzindo também o ruído com fluxo de veículos e auxiliando na drenagem em dias chuvosos.

São vários os segmentos da pavimentação que estão utilizando o ligante asfalto borracha no selamento de trincas, tratamentos superficiais, camadas intermediárias entre o

pavimento existente e o revestimento de reforço atual e em concreto asfáltico usinado a quente (ODA, 2000).

Apesar de possuir custos iniciais superiores em relações as misturas asfálticas convencionais, as misturas com asfalto de borracha podem aumentar a vida útil do pavimento, além de ter espessuras mais finas da camada de revestimento, (GRECO, 2004).

2.5.2 Asfalto de borracha no mundo

Por muitos anos, químicos e engenheiros trabalharam misturando em ligantes asfálticos borracha natural (látex) e borracha sintética (polímeros) na tentativa de aperfeiçoar as suas propriedades elásticas. Porém a história de incorporar a borracha de pneus reciclados em materiais para pavimentação asfáltica ocorreu só na década de 40 por uma Campanha de Reciclagem de Borracha, *U.S. U.S. Rubber Reclaiming Companhia*, que lançou no mercado o denominado Ramflex, produto composto de borracha reciclada desvulganizada e material asfáltico (ODA, 2000).

Os primeiros ensaios com misturas SMA executados na América do Norte foram no Canadá, mais precisamente na Província de Ontário, em dezembro de 1990, registrados por EMERY (1993) e com resultados de deformação permanente melhores que o concreto asfáltico convencional.

A inserção nos EUA do uso de misturas SMA foi recomendada pelos participantes da *European Asphalt Study Tour*, viagem à Europa de pesquisadores da área de pavimentação dos EUA, realizada no segundo semestre de 1990 e patrocinada por AASHTO, FHWA, NAPA, *AsphaltInstitute* e TRB. Com isso, no início de 1991, o FHWA estabeleceu um grupo de trabalho (*TechnicalWorkGroup*) para desenvolver um manual para materiais e construção de SMA (NAPA, 2002).

A Tabela 2.1 mostra o início da utilização de SMA em vários países da Europa e da América do Norte.

Tabela 2.1 – Primeira aplicação de SMA em países da Europa e da América do Norte.

País	Ano
Alemanha	1968
Dinamarca	1982
Hungria	1983
Noruega	1985
França	1986
Holanda	1987
Suécia	1988
Canadá	1990
República Tcheca	1991
Itália	1991
EUA	1991
Portugal	1994
Reino Unido	1994

Fonte: EAPA, 1998.

Em 1994, 23 estados americanos apresentavam trechos desse tipo de mistura asfáltica, totalizando mais de 500.000 toneladas. Neste mesmo ano, em agosto, o NAPA publicou *Guidelines for Materials, Production and Placement of Stone Matrix Asphalt*, o primeiro manual de SMA dos EUA (NAPA, 2002).

Bolzan (2000) relata o uso de uma mistura asfáltica SMA numa das principais rodovias da Argentina (Ricchieri), com tráfego de 120.000 veículos por dia. Os resultados evidenciam um asfalto confortável e seguro, resistente ao acúmulo de deformidade nas trilhas de roda

No momento atual, nos EUA a preferência para constituição das camadas de deterioração tem recaído nas misturas de graduação aberta, devido ao conhecimento pleno e do total domínio das técnicas de formulação, usinagem e execução; já o Departamento de Transportes da Califórnia tem utilizado tanto misturas de graduação densa como também descontínua e abertas (CAMPOS *et al.*, 2000).

Foi no ano de 1991, nos EUA que a Lei sobre a Eficiência do Transporte Intermodal de Superfície instituiu quantidades mínimas para aplicação de asfalto com adição da borracha de pneu. A finalidade dessa exigência de empregar quantidades de borrachas de pneus

reciclados nos pavimentos asfálticos era tentar amenizar o problema ambiental causado pelos pneus descartados (HANSON *et al*, 1994).

Na Europa, as pesquisas pertinentes à adição de borracha ao cimento asfáltico também iniciaram na década de 1960. Na França, a empresa Beugnet iniciou em 1981 a mistura de borracha ao cimento asfáltico. No processo desenvolvido por esta empresa, a borracha moída de pneu era incorporada ao cimento asfáltico à temperatura de 200° C, empregando óleo extensor. A borracha utilizada variava na proporção de 10 a 30% e a de óleo entre 3 a 15% em relação ao peso do cimento asfáltico (FAXINA, 2002).

2.5.3 Asfalto de borracha no Brasil

No Brasil, o estudo sobre o asfalto-borracha teve início nas pesquisas de LEITE (1999) e ODA (2000). Além das pesquisas feitas no CENPES/Petrobrás, pode-se falar de trabalhos julgados significativos para o progresso da tecnologia que vem sendo utilizada na modificação dos ligantes asfálticos convencionais com borracha moída de pneu, como, por exemplo, Momm&Salini (2000), Severo et al. (2003), Leite et al. (2003), Specht&Ceratti (2003), Barros & Vasconcelos (2003), Pinheiro & Soares (2003), Dantas Neto (2004), etc.

Foram em rodovias concessionadas as primeiras aplicações de trechos experimentais, como na BR-116 no Rio Grande do Sul em agosto de 2001. No Estado de São Paulo, acompanhadas pelas áreas técnicas da ARTESP, foram iniciados os serviços com asfalto borracha em abril de 2002, aplicado inicialmente na SP-330 Via Anhanguera, trecho concedido à Intervias (SILVA JR, 2005).

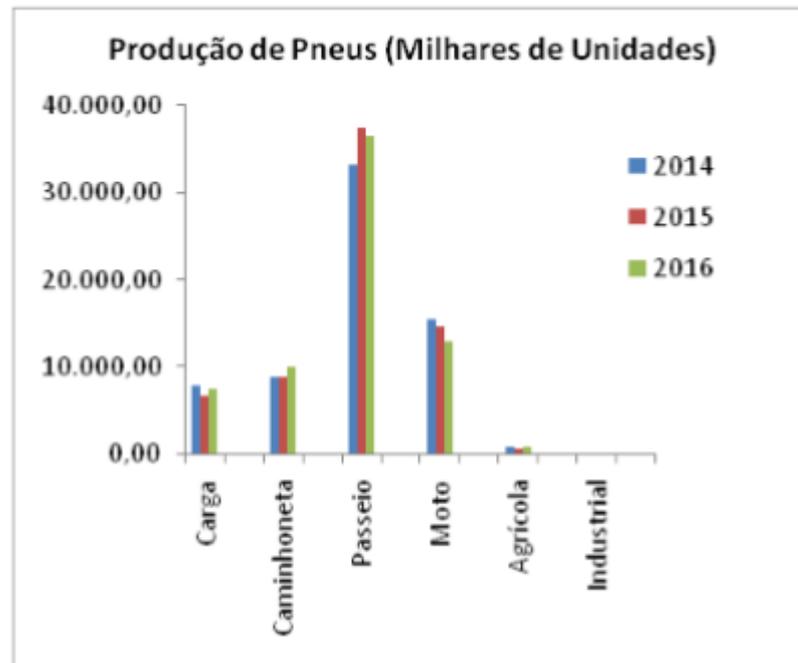
Atualmente, o Brasil conta com mais de 9000 km de rodovias, entre federais e estaduais, ruas e avenidas municipais pavimentadas com o aproveitamento de borracha reciclada de pneus, totalizando cerca de 9.000.000 de pneus utilizados no processo e retirados do meio ambiente (GRECA, 2017).

2.6 PNEUS INSERVÍVEIS

Os pneus inservíveis se tornam um risco passivo ambiental, caso não forem tratados de maneira correta, causando graves riscos de ordem ambiental, de saúde pública e social (FREITAS; NÓBREGA 2010).

Segundo dados da Associação Nacional da Indústria dos Pneumáticos (ANIPA), foram fabricados em trono de 67 milhões de pneus em 2016 no Brasil (Gr). A coleta de diversos pneus inservíveis em geral é incorreta e contribui com a degradação do meio ambiente.

Gráfico 2.1 – Produção de Pneus.



Fonte: Dados da associação nacional da indústria de pneus.

Os pneus que não tem mais utilidade podem ficar armazenados em borracheiros, nos locais de venda de pneus, ou o cliente pode armazená-los em casa.

Os pneus inservíveis tem três caminhos possíveis: os pneus convencionais são levados para as empresas que fazem a laminação e conversão da borracha em produtos diversos, como Tapetes para carros, solados, cintas de sofá etc. Na maioria das vezes, os pneus radiais, são triturados e depois direcionados para empresas fabricantes de cimento, para queima nos fornos de clínquer, ou para o Processo Petrosix® (unidade produtiva de Petróleo Brasileiro S.A)(PETROBRAS) que processa xisto betuminoso para obter petróleo bruto onde ocorre o coprocessamento; ou os pneus podem ser levados para instituições regeneradoras de borracha, que os convertem em pó de borracha, embora seja apenas um pequeno número de empresas que desempenham este processo a partir dos pneus, pois a maioria se abastece de resíduos gerados pela técnica de raspagem dos pneus velhos, feito pelas empresas reformadoras.

RESCHNER (2000), em um estudo de classificação da reciclagem de pneus em que considerava níveis de sensibilidade ambiental e investimentos, apresentou estudos ordenados

por preferência de técnicas de processamento e disposição. O primeiro lugar, a recauchutagem do pneu, que se constituiria no verdadeiro sentido da reciclagem. Em segundo lugar, a utilização do material e não do produto, tratando-se da comercialização da borracha utilizada como matéria prima. Em terceiro lugar, o uso de pneus inteiros usados para recuperação de energia, como suplemento energético em fornos de cimenteiras como suplemento. Em quarto lugar, o uso de pneus em forma de finas lascas, ou pó, inseridos ao carvão como suprimento energético em cimenteiras, termelétricas, etc que foram processados mecanicamente. Em quinto lugar, devido ao custo de investimento da planta industrial, vêm os procedimentos de modificação da estrutura química dos pneus e a utilização dos produtos resultantes na recuperação da energia intrínseca. Isto se refere a procedimentos de pirólise e remoção supercrítica dos óleos para a geração de combustíveis. E, em último lugar, o que vem sendo muito adotado, a estocagem, em que os pneus são guardados, sem muitos cuidados para um aproveitamento sem data marcada.

O sistema de logística reversa atua por meio de parcerias, normalmente com prefeituras, que são capazes de conceder depósitos temporários para armazenar os pneus inservíveis.

Os pneus descartados inadequadamente como mostrados na figura 2.4, podem tornar-se um sério risco à saúde pública e ao meio ambiente. O recomendado é que de forma ambientalmente certa e com segurança, estes pneus sejam destinados o mais próximo possível de onde foram gerados.

O artigo 7º da resolução número 258 do ano 1999 (CONAMA) estabelece que os fabricantes e importadores de pneus novos tem o prazo de 1 ano para declarar ao IBAMA, a finalidade correta dos pneus sem utilidade, correspondente a quantidade fabricada estabelecida no art. 3.

Figura 2.5 – Figura pneus descartados no meio ambiente.



Fonte: <http://dani-teiadavida.blogspot.com.br/2013/01/destinacao-final-de-pneus-inserviveis-o.html>

2.6.1 Obtenção da borracha moída

A formação da borracha empregada em pneu difere bastante, mas consiste essencialmente de borracha natural, borracha estireno-butadieno e negro de fumo. Para o reaproveitamento da borracha do pneu há antes do processo de moagem a necessidade de retirar o aço e as fibras. A moagem pode ser mecânica a temperatura ambiente, ou criogênica, a temperatura abaixo da temperatura de transição vítrea dos elastômeros presentes nos pneus (LEITE, 1999).

Um pneu comum, como o modelo P195/75R14, com massa aproximada de 10 kg, contém (SALINI, 2000):

- 2,50 kg de 30 variados tipos de borracha sintética;
- 2,05 kg de 8 tipos diferentes de borracha natural;
- 2,27 kg de 8 tipos de carbono preto;
- 0,68 kg de aço para o cinturão;
- 0,45 kg de poliéster e nylon;
- 0,23 kg de arame de aço;
- 1,36 kg diferentes tipos de produtos químicos, ceras, óleos, pigmentos, etc.

Para a obtenção do pó da borracha há três processos possíveis, são eles: moagem criogênica, moagem a frio, que por ser o de menor despesa na operação e na instalação é o mais utilizado e o processo de regeneração (FERRARA, 2006).

2.6.1.1 Moagem Criogênica

Segundo Saito, antes da moagem o material recebe injeção de dióxido de carbono ou nitrogênio líquido. O procedimento é necessário para ajudar na sua quebra, pois diminui o limite elástico do material. Como consequência pode se alcançar estreita faixa de distribuição granulométrica, redução do tempo de moagem e aumento na segurança do procedimento por meio do sistema inertizado.

Para Pierozan (2007, p. 7), o procedimento de moagem baseia-se em esfriar a borracha cortada com a temperatura abaixo da sua temperatura de transição vítrea (T_g), sendo mais facilmente moída, pois torna-se frágil. O meio predileto de esfriamento é o nitrogênio líquido por possibilitar um contato físico adequado com a borracha e por ele conservar uma atmosfera inerte ao longo da moagem. A moagem criogênica é uma maneira eficaz de conseguir pó de partes metálicas dentre outros materiais fabris. É importante considerar o custo do nitrogênio para possibilitar o processo economicamente.

A Figura 2.6 mostra as etapas do processo criogênico para a extração e granulação da borracha existente nos pneus usados. O processo inicia-se com a lavagem e limpeza das carcaças dos pneus, para consecutivamente fragmentação e remoção dos aros metálicos. Posteriormente a esta trituração preparativa mais grosseira, o material é levado ao túnel criogênico, para aplicação do nitrogênio líquido, o que facilita a trituração e permite a obtenção de grânulos mais pequenos e regulares. Em seguida vai para os moinhos de martelo onde a borracha é extraída e reduzida à granulometria desejada. Antes da crivagem são separados os metais por processos magnéticos e os têxteis por processos gravimétricos recorrendo ao ar ventilado.

Figura 2.6 - Processo criogênico para obtenção da borracha granulada de pneus.



Fonte: Campos (2006, p.44)

2.6.1.2 Moagem a frio

O primeiro procedimento desse processo é cortar o pneu em pedaços de 6 a 10 cm aproximadamente, separando os fios de aço da borracha, após isso é feita a moagem desses pedaços que viram o pó de borracha, em seguida o pó passa por eletroímãs para garantir um pó de borracha isento de partículas metálicas. (FERRARA, 2006)

Figura 2.7 – Equipamento de moagem a frio de pneus.



Fonte: FERRARA (2006)

2.6.1.3 Regeneração

Os pneus são cortados em pedaços menores e purificados por um conjunto de peneiras. Os pedaços de borracha são moídos e depois é feita a desvulcanização pela digestão em vapor d'água e por produtos como álcalis e óleos minerais (FERRARA, 2006, p.46).

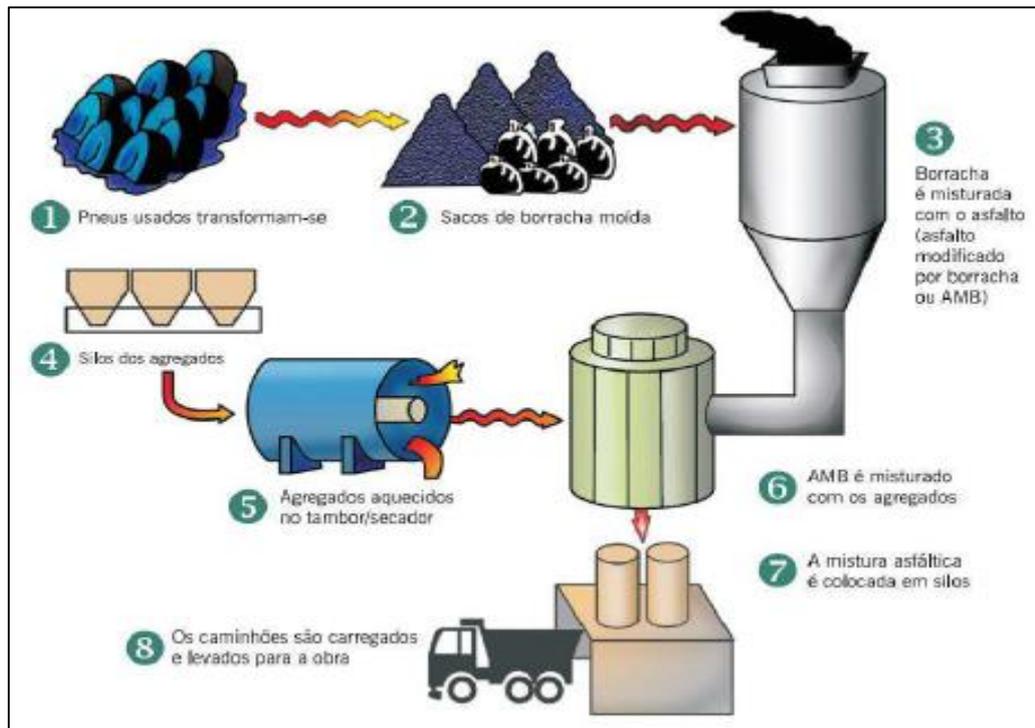
2.6.2 Processo do asfalto borracha via úmida

Nesse processo o ligante é aquecido a temperatura de 190 C em condições herméticas em um tanque de superaquecimento, após esse procedimento o ligante é encaminhado para outro tanque de mistura apropriado onde é adicionada a borracha moída a mistura convencional, que ficará misturando a uma temperatura determinada por um período de 1 a 4 horas. VISSER & VERHAEGUE, 2000). O tanque misturador deve ser capacitado para controlar o tempo de reação e a temperatura de forma invariável e o mais uniforme possível, também é imprescindível que haja agitação para que não ocorra o desmembramento das partículas de borracha. A porção de borracha adicionada ao cimento asfáltico por esse processo varia de 5 a 25% em peso em relação ao cimento asfáltico, geralmente com partículas inferiores a 2 mm (FAXINA, 2002).

Faxina (2006) observa que é esperado que o ligante asfáltico empregado no processo úmido contenha uma concentração relativamente alta de frações leves, o que pode ser obtido pela adição de óleos extensores ou pela seleção de ligantes asfálticos de menor consistência. Em ambas situações, é possível nivelar o aumento da viscosidade ocasionado pela incorporação da borracha, assim como proporcionar óleos aromáticos em quantidade suficiente para possibilitar a reação entre o ligante asfáltico e a borracha, sem destruir componentes fundamentais do ligante asfáltico de base.

Para a borracha ter a capacidade de melhorar as propriedades do cimento asfáltico é imprescindível a compatibilidade entre ambos. A determinação dessa compatibilidade é desempenhada significativamente pela presença do tipo e quantidade de óleos aromáticos presentes na mistura. (PINHEIRO, 2004).

Figura 2.8 - Processo de fabricação do asfalto borracha via úmida.



Fonte: Pavimentação Asfáltica – Formação básico para engenheiro (2010)

A estabilidade é um dos fatores que diferem a grande quantidade de utilização dos asfaltos modificados por EVA e SBS do asfalto de borracha moída. No caso dos asfaltos modificados por EVA e SBA eles tem a opção de ser estocados e entregues na obra. Já o asfalto borracha normalmente a preparação é *just in time*, pois é recomendado ser utilizado imediatamente. Por esse motivo é viável preparar a mistura no canteiro de obras. No Brasil a tecnologia terminal *bleding* está sendo aplicada para o processo úmido, em que a mistura é feita na unidade central e levada até o local de utilização (SPECHT, 2004).

2.6.3 Processo do asfalto borracha via seca

No processo via seca não são aproveitadas todas as qualidades que a borracha pode oferecer ao asfalto, porque nesse caso a borracha moída é adicionada como agregado e não incorporada ao ligante. (FONTANA FILHO, 2009)

No processo, o agregado é aquecido a temperatura de 200°C, então a borracha é adicionada e é realizada a mistura por um tempo próximo de 15 segundos, ou até a mistura ficar homogênea. Posteriormente é adicionado o ligante betuminoso a esta composição final por meio de procedimentos convencionais de usinagem (VISSER & VERHAEGHE, 2000). Nesse

processo se adiciona de 3 a 5% de borracha em relação a massa total de agregados minerais, com partículas de 1,6 a 6,4mm. Esse processo chega a utilizar de 2 a 4 vezes mais borracha se comparado ao processo úmido (FAXINA, 2002).

Embora esse processo retire mais pneus descartados do meio ambiente, ele não melhora consideravelmente o revestimento asfáltico, devido que a borracha moída contribui com a massa como carga, não transmitindo suas propriedades ao ligante asfáltico.

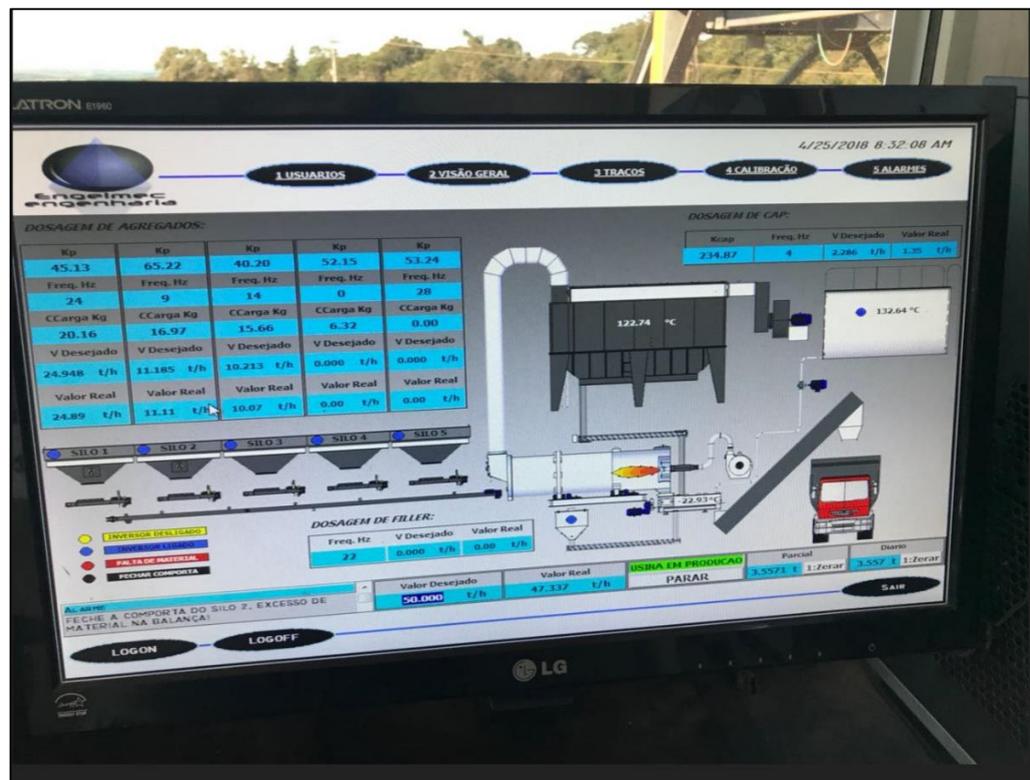
3 PROCEDIMENTOS DOS ENSAIOS

3.1 USINAGEM DE CBUQ CONVENCIONAL

Foi realizada uma visita à empresa Trade, localizada na cidade de Anápolis – Go, em que se acompanhou uma usinagem de CBUQ.

A figura 3.1 é a central de controle, é por meio deste programa que se especifica o tipo de asfalto que será produzido, as quantidades de cada agregado que serão liberados para a mistura e o tipo de CAP, que nesse caso foi utilizado o 50/70.

Figura 3.1 – Central de controle.



Fonte: Acervo pessoal (2018)

No caso de ocorrer algum erro no programa do computador é possível operar de forma manual como mostra a figura 3.2.

Figura 3.2 – Central de controle manual.



Fonte: Acervo pessoal (2018)

Os agregados, brita 0, brita 1, areia e pó de brita são colocados em baias e as quantidades de cada um são liberados e encaminhados por esteiras conforme o traço indicado pela central de controle (FIG. 3.3).

Figura 3.3 – Baias de armazenagem dos agregados.



Fonte: Acervo pessoal (2018)

As esteiras levam os agregados até o misturador externo onde é feita a mistura dos agregados e incorporado o CAP. No caso de um asfalto modificado, se fosse incorporada a borracha moída via seca, por exemplo, ela seria levada por essa segunda esteira. (FIG. 3.4)

Figura 3.4 – Esteiras.



Fonte: Acervo pessoal (2018)

A figura 3.5 mostra o local onde é feita a mistura dos agregados e incorporação do CAP, terminado o processo o asfalto é encaminhado para o tanque de armazenamento.

Figura 3.5 – Misturador externo e armazenagem.



Fonte: Acervo pessoal (2018)

Figura 3.6 – CAP no estado bruto no local de abastecimento



Fonte: Acervo pessoal (2018)

Figura 3.7 - Tanques de armazenamento do CAP.



Fonte: Acervo pessoal (2018)

Após a mistura ser concluída ela é levada para o tanque de armazenamento e logo em seguida descarregada no caminhão que será pesado e seguirá para o destino final. É verificado a temperatura e o caminhão deve ser coberto com lona para preservar o máximo possível da temperatura até chegar ao local da pavimentação. (FIG. 3.8)

Figura 3.8 – Carregamento do CBUQ.



Fonte: Acervo pessoal (2018)

3.2 ENSAIOS

Os ensaios foram realizados em uma usina de asfalto no município de Anápolis – Go. Para a execução do ensaio foram necessárias algumas etapas, como:

- Coleta e peneiramento da borracha.
- Determinação e granulometria dos agregados.
- Incorporação do pó de borracha ao CAP 50/70.
- Confeção dos corpos de prova
- Ensaio Marshall

3.2.1 Coleta e peneiramento da borracha

A borracha utilizada para o ensaio, fornecida em lascas foi pesada e peneirada, como mostrado na figura abaixo, foi aproveitado para a incorporação apenas a parte que ficou retida na peneira 10 e na peneira 40 (FIG. 3.9 e FIG. 3.10), pois quanto menos espessas mais facilmente se incorporam ao CAP.

Figura 3.9 – Peneiramento da borracha moída de pneu em peneira granulométrica.



Fonte: Acervo Pessoal (2018).

Figura 3.10 – Pó de Borracha após o peneiramento.



Fonte: Acervo Pessoal (2018).

Após o peneiramento foi passado um ímã para retirar as limalhas de ferro que podem estar presentes na borracha, feito isso a borracha estava pronta para ser adicionada ao ligante.

3.2.2 Determinação e granulometria dos agregados

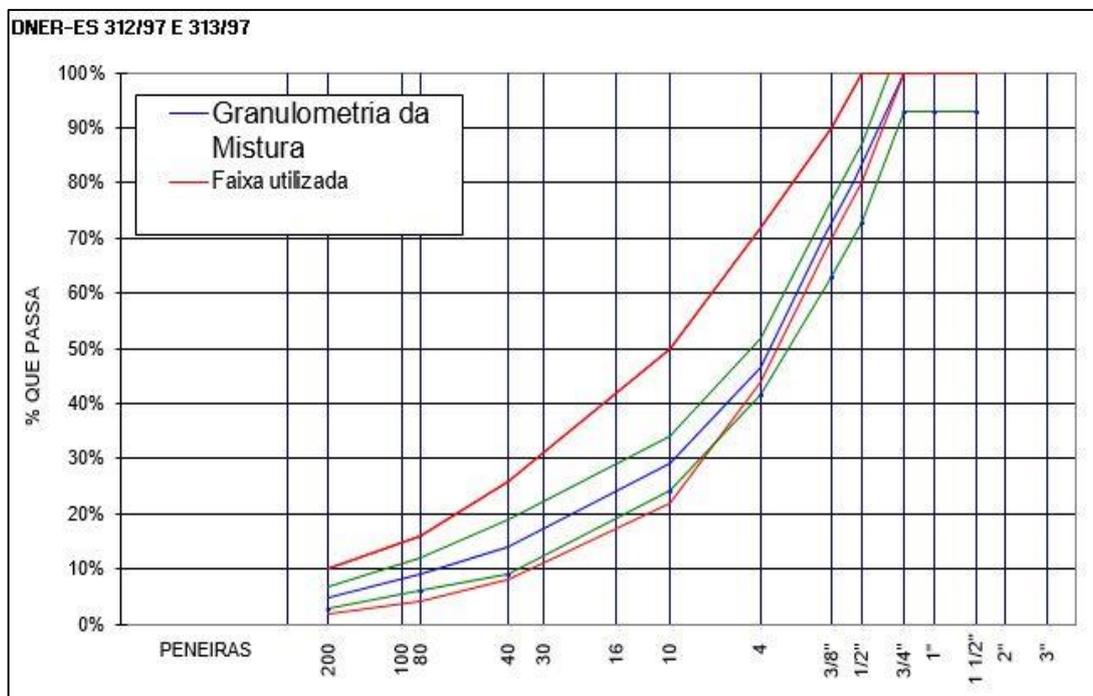
Para a realização dos ensaios foram utilizados os agregados disponíveis na usina de asfalto, que se encontrava o laboratório no qual foram feitos os ensaios de granulometria, em que os resultados estão dispostos na tabela 3.1. Conforme o ensaio de granulometria realizado pode-se comprovar que os agregados se enquadram na faixa C da norma do DNIT 031/2006 – ES.

Tabela 3.1 – Composição Granulométrica da mistura.

COMPOSIÇÃO GRANULOMETRICA											
PENEIRA	AGREG 1	z	AGREG 2	z	AGREG 3	z	AGREG 4	z	AGREG 5	z	MIST.
	BRITA 1	35%	BRITA 0	20%	PÓ/PEDRA	45%	AREIA-B		AREIA-A		
1 1/2 Pol	100,00%	35,00%	100,00%	20,00%	100,00%	45,00%					100,00%
1 Pol	100,00%	35,00%	100,00%	20,00%	100,00%	45,00%					100,00%
3/4 Pol	100,00%	35,00%	100,00%	20,00%	100,00%	45,00%					100,00%
1/2 Pol	31,59%	11,06%	100,00%	20,00%	100,00%	45,00%					80,06%
3/8 Pol	16,01%	5,60%	97,04%	19,41%	100,00%	45,00%					70,01%
n.º 4	0,15%	0,05%	12,72%	2,54%	98,02%	44,11%					46,71%
n.º 10	0,00%	0,00%	0,49%	0,10%	64,42%	28,99%					29,09%
n.º 40	0,14%	0,05%	0,44%	0,09%	30,78%	13,85%					13,99%
n.º 80	0,12%	0,04%	0,42%	0,08%	19,65%	8,84%					8,97%
n.º 200	0,09%	0,03%	0,36%	0,07%	10,39%	4,68%					4,78%
Fundo											

Fonte: Autoras (2018).

Gráfico 3.1 – Gráfico da granulometria da mistura.



Fonte: Autoras (2018).

Sendo satisfatórios os resultados tanto para o asfalto borracha quanto para o asfalto convencional, é definido então o traço a ser utilizado para a fabricação dos corpos de prova. Os agregados (FIG. 3.11) são separados e pesados.

Figura 3.11 – Agregados



Fonte: Acervo Pessoal (2018)

3.2.3 Incorporação do pó de borracha ao CAP

O CAP utilizado foi o 50/70, ele foi recolhido diretamente do tanque onde fica armazenado o CAP da empresa em que foram realizados os ensaios (FIG 3.12).

Figura 3.12 – CAP no Estado Líquido.



Fonte: Acervo Pessoal, 2018.

O CAP e o pó de borracha foram pesados em uma balança de precisão, em seguida o ligante foi aquecido até atingir a temperatura de 170 C° e então foi incluído o pó de borracha na porcentagem de 15% em relação ao ligante e misturado manualmente em torno de 30 min. Verificou-se grande dificuldade em manter a temperatura constante, ouve variação entre 160 e 180°C, o processo foi acompanhado por um termômetro de mercúrio.

Figura 3.13 – Adição do pó de borracha ao CAP.



Fonte: Acervo Pessoal (2018).

Ao final dos 30 minutos, observou uma mistura homogenia e viscosa.

Figura 3.14 – CAP com o pó de borracha dissolvido.



Fonte: Acervo Pessoal (2018)

3.2.4 Confeção dos corpos de prova

Foram necessários a confecção de dezoito corpos de prova no total, sendo nove para o asfalto convencional, e nove do asfalto borracha com a porcentagens de CAP de 4; 4,5 e 5%, para cada porcentagem foram feitos três corpos de prova, para se obter um média dos resultados.

Cada corpo de prova continha 1250g da mistura composta por brita 0, brita 1, pó de pedra e CAP, que foram calculados, conforme a porcentagem, pesados em uma balança de precisão conforme a figura 3.15 e em seguida encaminhados para o fogão industrial (FIG. 3.16), onde foram aquecidos a temperaturas de 160°C para o convencional e 180°C para o asfalto modificado com pó de borracha, os componentes foram misturados até atingirem uma mistura homogênea.

Figura 3.15 – Pesagem do material.



Fonte: Acervo pessoal (2018)

Figura 3.16 – Controle de temperatura das misturas



Fonte: Acervo pessoal (2018)

Após atingir a temperatura ideal e estar homogênea, a mistura é encaminhada para o molde de compactação (FIG 3.17), onde serão aplicados 75 golpes de cada lado como mostra a figura 3.18.

Figura 3.17– Preenchimento do molde de compactação



Fonte: Acervo pessoal (2018)

Figura 3.18 – Compactação do corpo de prova



Fonte: Acervo pessoal (2018)

Após um período de no mínimo 12 horas é feita a desforma dos corpos de prova (FIG. 3.19).

Figura 3.19 – desforma dos corpos de prova



Fonte: Acervo pessoal (2018)

3.2.5 Ensaio Marshall

A pesagem ao ar do corpo de prova é o primeiro procedimento a ser realizado (FIG. 3.20), em seguida os corpos de prova são pesados submersos (FIG. 3.21).

Figura 3.20 – Pesagem do corpo de prova ao ar



Fonte: Acervo pessoal (2018)

Figura 3.21 – Pesagem do corpo de prova submerso



Fonte: Acervo pessoal (2018)

O próximo procedimento é deixar os corpos de prova em banho-maria por 30 min a 60°C como mostra a figura abaixo.

Figura 3.22 – corpos de prova em banho-maria



Fonte: Acervo pessoal (2018)

Assim que foram retirados do banho-maria os corpos de prova foram imediatamente para a prensa Marshall (FIG. 3.23), onde ocorreu o rompimento e foram anotadas a carga em kgf até o rompimento, obteve-se então a estabilidade lida.

A deformação total do corpo de prova expressa em milímetros, define a fluência Marshall.

Figura 3.23 – Prensa Marshall



Fonte: Acervo pessoal (2018)

Após a leitura dos dados, obteve-se os resultados desejados para a comparação entre os dois tipos de asfaltos, mostrados nas tabelas abaixo.

Tabela 3.2 - Resultados ensaio Marshall Asfalto borracha CAP à 4%.

Ensaio Marshall - Método DNER 043/95							
Asfalto Borracha - CAP 50/70							
Resultados do ensaio							
		Número do corpo de prova	1	2	3	Média	
		Altura do corpo de prova	6,5	6,5	6,4		
a	Densidades	Peso ao ar (g)	1241,60	1244,20	1234,20	1240,00	
b		Peso imerso (g)	762,00	760,20	766,00	762,73	
c		Volumen (cm ³)	a-b	479,60	484,00	468,20	477,27
d		Aparente (g/cm ³)	a/c	2,59	2,57	2,64	2,60
e		D.M.T. (g/cm ³)		2,73	2,73	2,73	2,73
f	Vazios	Vazio (%)	(e-d)*100/e	5,14	5,80	3,41	4,78
g		V.C.B. (%)	d*r/s	10,24	10,17	10,43	10,28
h		V.A.M. (%)	f+g	15,38	15,97	13,84	15,06
i		R.B.V. (%)	g/h	66,59	63,67	75,37	68,55
j	Estabilidade	Leitura	620	670	700	663,33	
k		Fator de correção	0,96	0,96	0,99	0,97	
l		Leitura corrigida	j*k	595,2	643,2	693	643,80
m		Estabilidade (kgf)	l*u	1159,45	1252,95	1349,964	1254,12
n	Fluência	Leitura inicial (mm)					
o		Leitura final (mm)		9,6	9,5	9,5	9,53
p		Fluência	n+o/2,54	3,78	3,74	3,74	3,75
q	Resultados adicionais						
r	Teor de betume Utilizado	4,0%	t	Densidade Agregados (g/cm ³)		2,94	
s	Densidade CAP (g/cm ³)	1,011	u	Fator de Correção da Prensa		1,948	

Fonte: Autoras (2018).

Tabela 3.3 - Resultados ensaio Marshall Asfalto borracha CAP à 4%.

Resumo Ensaio Marshall - Asfalto Borracha CAP à 4%					
	VV (%)	VAM (%)	RBV (%)	Estabilidade (kgf)	Fluência (mm)
Norma DNIT 112/2009 - ES	3,0 - 5,0	> 15	65 - 78	>800	2,0 - 4,6
Resultados obtidos	4,78	15,06	68,55	1254,12	3,75

Fonte: Autoras (2018).

Tabela 3.4 - Resultados ensaio Marshall Asfalto convencional CAP à 4%.

Ensaio Marshall - Método DNER 043/95							
Asfalto Convencional - CAP 50/70							
Resultados do ensaio							
Número do corpo de prova		1	2	3	Média		
Altura do corpo de prova		6,5	6,4	6,5			
a	Densidades	Peso ao ar (g)	1249,60	1248,90	1247,50	1248,67	
b		Peso imerso (g)	769,00	783,60	769,20	773,93	
c		Volume (cm ³)	a-b	480,60	465,30	478,30	474,73
d		Aparente (g/cm ³)	a/c	2,60	2,68	2,61	2,63
e		D.M.T. (g/cm ³)		2,73	2,73	2,73	2,73
f	Vazios	Vazio (%)	(e-d)*100/e	4,73	1,65	4,43	3,60
g		V.C.B. (%)	d*r/s	10,29	10,62	10,32	10,41
h		V.A.M. (%)	f+g	15,01	12,27	14,75	14,01
i		R.B.V. (%)	g/h	68,52	86,57	69,97	75,02
j	Estabilidade	Leitura	500	470	500	490,00	
k		Fator de correção	0,96	0,99	0,96	0,97	
l		Leitura corrigida	j*k	480	465,3	480	475,10
m		Estabilidade (kgf)	l*u	935,04	906,404	935,04	925,49
n	Fluência	Leitura inicial (mm)					
o		Leitura final (mm)		9,3	9,2	9,3	9,27
p		Fluência	n+o/2,54	3,66	3,62	3,66	3,65
q	Resultados adicionais						
r	Teor de betume Utilizado	4,0%	t	Densidade Agregados (g/cm ³)	2,94		
s	Densidade CAP (g/cm ³)	1,011	u	Fator de Correção da Prensa	1,948		

Fonte: Autoras (2018).

Tabela 3.5 - Resultados ensaio Marshall Asfalto convencional CAP à 4%.

Resumo Ensaio Marshall - Asfalto Convencional CAP à 4%					
	VV (%)	VAM (%)	RBV (%)	Estabilidade (kgf)	Fluência (mm)
Norma DNIT 031/2006 - ES	3,0 - 5,0	> 14	75 - 82	>500	2,0 - 4,6
Resultados obtidos	3,60	14,01	75,02	925,49	3,65

Fonte: Autoras (2018).

Tabela 3.6 - Resultados ensaio Marshall Asfalto borracha CAP à 4,5%.

Ensaio Marshall - Método DNER 043/95							
Asfalto Borracha - CAP 50/70							
Resultados do ensaio							
		Número do corpo de prova	1	2	3	Média	
		Altura do corpo de prova	6,5	6,3	6,5		
a	Densidades	Peso ao ar (g)	1246,10	1244,80	1245,50	1245,47	
b		Peso imerso (g)	769,20	755,20	765,10	763,17	
c		Volume (cm ³)	a-b	476,90	489,60	480,40	482,30
d		Aparente (g/cm ³)	a/c	2,61	2,54	2,59	2,58
e		D.M.T. (g/cm ³)		2,71	2,71	2,71	2,71
f	Vazios	Vazio (%)	(e-d)*100/e	3,41	6,01	4,16	4,53
g		V.C.B. (%)	d*r/s	11,63	11,32	11,54	11,50
h		V.A.M. (%)	f+g	15,04	17,33	15,70	16,02
i		R.B.V. (%)	g/h	77,34	65,31	73,51	72,05
j	Estabilidade	Leitura	850	830	920	866,67	
k		Fator de correção	0,96	1,01	0,96	0,98	
l		Leitura corrigida	j*k	816	838,3	883,2	845,83
m		Estabilidade (kgf)	l*u	1589,57	1633,01	1720,4736	1647,68
n	Fluência	Leitura inicial (mm)					
o		Leitura final (mm)	9,5	9,4	9,6	9,50	
p		Fluência	n+o/2,54	3,74	3,70	3,78	3,74
q	Resultados adicionais						
r	Teor de betume Utilizado	4,5%	t	Densidade Agregados (g/cm ³)	2,94		
s	Densidade CAP (g/cm ³)	1,011	u	Fator de Correção da Prensa	1,948		

Fonte: Autoras (2018).

Tabela 3.7 - Resultados ensaio Marshall Asfalto borracha CAP à 4,5%.

Resumo Ensaio Marshall - Asfalto Borracha CAP à 4,5%					
	VV (%)	VAM (%)	RBV (%)	Estabilidade (kgf)	Fluência (mm)
Norma DNIT 112/2009 - ES	3,0 - 5,0	> 15	65 - 78	>800	2,0 - 4,6
Resultados obtidos	4,53	16,02	72,05	1647,68	3,74

Fonte: Autoras (2018).

Tabela 3.8 - Resultados ensaio Marshall Asfalto convencional CAP à 4,5%.

Ensaio Marshall - Método DNER 043/95							
Asfalto Convencional - CAP 50/70							
Resultados do ensaio							
Número do corpo de prova		1	2	3	Média		
Altura do corpo de prova		6,3	6,4	6,3			
a	Densidades	Peso ao ar (g)	1241,10	1243,50	1248,30	1244,30	
b		Peso imerso (g)	756,90	767,50	777,90	767,43	
c		Volume (cm ³)	a-b	484,20	476,00	470,40	476,87
d		Aparente (g/cm ³)	a/c	2,56	2,61	2,65	2,61
e		D.M.T. (g/cm ³)		2,71	2,71	2,71	2,71
f	Vazios	Vazio (%)	(e-d)*100/e	5,25	3,43	1,90	3,52
g		V.C.B. (%)	d*r/s	11,41	11,63	11,81	11,62
h		V.A.M. (%)	f+g	16,65	15,05	13,71	15,14
i		R.B.V. (%)	g/h	68,50	77,24	86,14	77,29
j	Estabilidade	Leitura	600	630	640	623,33	
k		Fator de correção	1,01	0,99	1,01	1,00	
l		Leitura corrigida	j*k	606	623,7	646,4	625,37
m		Estabilidade (kgf)	l*u	1180,49	1214,97	1259,1872	1218,21
n	Fluência	Leitura inicial (mm)					
o		Leitura final (mm)		9,4	9,3	9,4	9,37
p		Fluência	n+o/2,54	3,70	3,66	3,70	3,69
q	Resultados adicionais						
r	Teor de betume Utilizado	4,5%	t	Densidade Agregados (g/cm ³)	2,94		
s	Densidade CAP (g/cm ³)	1,011	u	Fator de Correção da Prensa	1,948		

Fonte: Autoras (2018).

Tabela 3.9 - Resultados ensaio Marshall Asfalto convencional CAP à 4,5%.

Resumo Ensaio Marshall - Asfalto Convencional CAP à 4,5%					
	VV (%)	VAM (%)	RBV (%)	Estabilidade (kgf)	Fluência (mm)
Norma DNIT 031/2006 - ES	3,0 - 5,0	> 14	75 - 82	>500	2,0 - 4,6
Resultados obtidos	3,52	15,14	77,29	1218,21	3,69

Fonte: Autoras (2018).

Tabela 3.10 - Resultados ensaio Marshall Asfalto borracha CAP à 5%.

Ensaio Marshall - Método DNER 043/95							
Asfalto Borracha - CAP 50/70							
Resultados do ensaio							
Número do corpo de prova		1	2	3	Média		
Altura do corpo de prova		6,5	6,4	6,5			
a	Densidades	Peso ao ar (g)	1247,20	1238,40	1249,50	1245,03	
b		Peso imerso (g)	759,50	761,50	762,90	761,30	
c		Volume (cm ³)	a-b	487,70	476,90	486,60	483,73
d		Aparente (g/cm ³)	a/c	2,56	2,60	2,57	2,57
e		D.M.T. (g/cm ³)		2,68	2,68	2,68	2,68
f	Vazios	Vazio (%)	(e-d)*100/e	4,63	3,16	4,24	4,01
g		V.C.B. (%)	d*r/s	12,65	12,84	12,70	12,73
h		V.A.M. (%)	f+g	17,28	16,01	16,94	16,74
i		R.B.V. (%)	g/h	73,19	80,24	74,96	76,13
j	Estabilidade	Leitura	840	900	930	890,00	
k		Fator de correção	0,96	0,99	0,96	0,97	
l		Leitura corrigida	j*k	806,4	891	892,8	863,40
m		Estabilidade (kgf)	l*u	1570,87	1735,67	1739,1744	1681,90
n	Fluência	Leitura inicial (mm)					
o		Leitura final (mm)	9,6	9,5	9,4	9,50	
p		Fluência	n+o/2,54	3,78	3,74	3,70	3,74
q	Resultados adicionais						
r	Teor de betume Utilizado	5,0%	t	Densidade Agregados (g/cm ³)	2,94		
s	Densidade CAP (g/cm ³)	1,011	u	Fator de Correção da Prensa	1,948		

Fonte: Autoras (2018).

Tabela 3.11 - Resultados ensaio Marshall Asfalto borracha CAP à 5%.

Resumo Ensaio Marshall - Asfalto Borracha CAP à 5%					
	VV (%)	VAM (%)	RBV (%)	Estabilidade (kgf)	Fluência (mm)
Norma DNIT 112/2009 - ES	3,0 - 5,0	> 15	65 - 78	>800	2,0 - 4,6
Resultados obtidos	4,01	16,74	76,13	1681,90	3,74

Fonte: Autoras (2018).

Tabela 3.12 - Resultados ensaio Marshall Asfalto convencional CAP à 5%.

Ensaio Marshall - Método DNER 043/95							
Asfalto Convencional - CAP 50/70							
Resultados do ensaio							
		Número do corpo de prova	1	2	3	Média	
		Altura do corpo de prova	6,3	6,4	6,4		
a	Densidades	Peso ao ar (g)	1246,60	1247,90	1249,30	1247,93	
b		Peso imerso (g)	765,30	760,80	773,30	766,47	
c		Volume (cm ³)	a-b	481,30	487,10	476,00	481,47
d		Aparente (g/cm ³)	a/c	2,59	2,56	2,62	2,59
e		D.M.T. (g/cm ³)		2,68	2,68	2,68	2,68
f	Vazios	Vazio (%)	(e-d)*100/e	3,41	4,46	2,13	3,33
g		V.C.B. (%)	d*r/s	12,81	12,67	12,98	12,82
h		V.A.M. (%)	f+g	16,22	17,13	15,11	16,15
i		R.B.V. (%)	g/h	78,96	73,95	85,93	79,62
j	Estabilidade	Leitura	700	680	710	696,67	
k		Fator de correção	1,01	0,99	0,99	1,00	
l		Leitura corrigida	j*k	707	673,2	702,9	694,37
m		Estabilidade (kgf)	l*u	1377,24	1311,39	1369,2492	1352,63
n	Fluência	Leitura inicial (mm)					
o		Leitura final (mm)		9,5	9,4	9,3	9,40
p		Fluência	n+o/2,54	3,74	3,70	3,66	3,70
q	Resultados adicionais						
r	Teor de betume Utilizado	5,0%	t	Densidade Agregados (g/cm ³)		2,94	
s	Densidade CAP (g/cm ³)	1,011	u	Fator de Correção da Prensa		1,948	

Fonte: Autoras (2018).

Tabela 3.13 - Resultados ensaio Marshall Asfalto convencional CAP à 5%.

Resumo Ensaio Marshall - Asfalto Convencional CAP à 5%					
	VV (%)	VAM (%)	RBV (%)	Estabilidade (kgf)	Fluência (mm)
Norma DNIT 031/2006 - ES	3,0 - 5,0	> 14	75 - 82	>500	2,0 - 4,6
Resultados obtidos	3,33	15,14	79,62	1352,63	3,70

Fonte: Autoras (2018).

3.2.6 Comparação e análise dos resultados

Tabela 3.14 – Comparativo de Vazios entre os tipos de asfaltos analisados.

Comparativo CAP à 4% - Vazios		
	Asfalto convencional	Asfalto borracha
Volume de Vazio (%)	3,60	4,78
V.C.B. (%)	10,41	10,28
V.A.M. (%)	14,01	15,06
R.B.V. (%)	75,02	68,55

Fonte: Autoras (2018).

Tabela 3.15 – Comparativo de Vazios entre os tipos de asfaltos analisados.

Comparativo CAP à 4,5% - Vazios		
	Asfalto convencional	Asfalto borracha
Volume de Vazio (%)	3,52	4,53
V.C.B. (%)	11,62	11,50
V.A.M. (%)	15,14	16,02
R.B.V. (%)	77,29	72,05

Fonte: Autoras (2018).

Tabela 3.16 – Comparativo de Vazios entre os tipos de asfaltos analisados.

Comparativo CAP à 5% - Vazios		
	Asfalto convencional	Asfalto borracha
Volume de Vazio (%)	3,33	4,01
V.C.B. (%)	12,82	12,73
V.A.M. (%)	16,15	16,74
R.B.V. (%)	79,62	76,13

Fonte: Autoras (2018).

Como mostrado nas tabelas acima o comparativo de vazios entre o asfalto convencional e o asfalto borracha demonstra que o volume de vazios do asfalto borracha nos três casos é superior ao do asfalto convencional, isso ocorre pelo motivo da borracha utilizada expandir-se, formando uma mistura porosa, mas que não perde a resistência, trazendo benefícios para os carros que trafegam em dias de chuva.

Tabela 3.17 – Comparativo de Estabilidade entre os tipos de asfaltos analisados.

Comparativo CAP à 4 % - Estabilidade		
	Asfalto convencional	Asfalto borracha
Leitura	490,00	663,33
Fator de correção	0,97	0,97
Leitura corrigida	475,10	643,80
Estabilidade (kgf)	925,49	1254,12

Fonte: Autoras (2018).

Tabela 3.18 – Comparativo de Estabilidade entre os tipos de asfaltos analisados.

Comparativo CAP à 4,5 % - Estabilidade		
	Asfalto convencional	Asfalto borracha
Leitura	623,33	866,67
Fator de correção	1,00	0,98
Leitura corrigida	625,37	845,83
Estabilidade (kgf)	1218,21	1647,68

Fonte: Autoras (2018).

Tabela 3.19 – Comparativo de Estabilidade entre os tipos de asfaltos analisados.

Comparativo CAP à 5 % - Estabilidade		
	Asfalto convencional	Asfalto borracha
Leitura	696,67	890,00
Fator de correção	1,00	0,97
Leitura corrigida	694,37	863,40
Estabilidade (kgf)	1352,63	1681,90

Fonte: Autoras (2018).

No quesito estabilidade, verificou-se no asfalto borracha uma resistência significativamente superior a do asfalto convencional, isso se deve ao fato da borracha possuir características elásticas. Essa característica é importante para aumentar a durabilidade dos pavimentos.

Tabela 3.20 – Comparativo de Fluência entre os tipos de asfaltos analisados.

Comparativo CAP à 4 % - Fluência		
	Asfalto convencional	Asfalto borracha
Fluência	3,65	3,75

Fonte: Autoras (2018).

Tabela 3.21 – Comparativo de Fluência entre os tipos de asfaltos analisados.

Comparativo CAP à 4,5 % - Fluência		
	Asfalto convencional	Asfalto borracha
Fluência	3,69	3,74

Fonte: Autoras (2018).

Tabela 3.22 – Comparativo de Fluência entre os tipos de asfaltos analisados.

Comparativo CAP à 5 % - Fluência		
	Asfalto convencional	Asfalto borracha
Fluência	3,70	3,74

Fonte: Autoras (2018).

A deformação do asfalto borracha foi maior até seu rompimento, resultado da característica elástica da borracha que gera uma recuperação elástica, fato esse que interfere na diminuição de trincas e trilhos de roda das rodovias.

4 VIABILIDADE ECONÔMICA DO ASFALTO DE BORRACHA

No Brasil a maior parte do escoamento da produção das indústrias é feita pelo transporte rodoviário, sendo assim ainda é preciso fazer vários investimentos em infraestrutura para melhorar esse escoamento. Aliados à essas necessidades de investimento destacam-se também a questão ambiental, de modo que no decorrer do processo de implantação ou melhoramento dos revestimentos das rodovias, tem-se a necessidade de usufruir dos meios tecnológicos existentes (ZATARIN *et al*).

É clara a viabilidade econômica do asfalto borracha por suas vantagens como, ter uma espessura consideravelmente menor se comparado ao asfalto convencional e em alguns anos o asfalto convencional terá um custo mais elevado que o AB pela sua manutenção.

4.1 VANTAGENS

De acordo com Morilha Jr. e Greca (2003), o asfalto-borracha, apresenta como principais vantagens em sua utilização: A diminuição da fragilidade térmica que ocorre quando comparado com os asfaltos construídos com ligante convencional; A melhoria da flexibilidade se deve ao fato da grande concentração de elastômeros na borracha de pneus e a melhor aglutinação do ligante aos agregados; Maior resistência ao desgaste devido a presença de antioxidantes e carbono na borracha de pneus que ajudam na diminuição do envelhecimento por oxidação; Aumento do ponto de amolecimento, devido ao ligante asfalto-borracha possuir um ponto de amolecimento maior que o ligante convencional, ocorre o melhoramento a resistência da formação de trilhas de rodas.

Há também outras vantagens como: Maior resistência a tempestades; resiste mais satisfatoriamente à trincagem; maior eficiência de impermeabilização; melhor elasticidade; aumento da conservação.

A Greca Asfaltos após constantes investimentos na tecnologia e preocupada com o meio ambiente, apresentou o ECOFLEX 3G, que traz ao mercado diversas vantagens: redução na emissão de poluentes; melhora nas condições de Saúde. Meio ambiente e Segurança (SMS); economia de energia e combustíveis; preservação dos equipamentos; capacidade de aumentar o percurso da massa asfálticas, se necessário; agilidade para liberar o tráfego; maior produção; aumento da vida útil do pavimento asfáltico.

O diferencial do ECOFLEX 3G é a redução de temperatura nas operações tanto de usinagem quanto de compactação, sem que ocorra o comprometimento das características do

asfalto. Sendo assim houve a redução na emissão de gases poluentes, deste modo quanto menor a poluição, maior sustentabilidade (GRUPO GRECA).

Além disso, a temperatura de usinagem está dentro dos parâmetros utilizados nos asfaltos convencionais (CAP 50/70 e CAP 30/45), a mistura do ECOFLEX 3G ocorre com a temperatura em torno de 170°C – 175°C e usinagem com os agregados por volta de 160°C. Frequentemente a compactação do concreto asfáltico com o ligante borracha estão entre 155°C e 165°C, logo com o ECOFLEX 3G para a compactação ideal são necessárias temperaturas 135°C a 140°C (GRUPO GRECA).

4.2 DESVANTAGENS

Além de coisas boas, o “asfalto-ecológico”, também tem seus prejuízos que exercem influências principalmente para o meio ambiente. De acordo com pesquisador José Leomar da USP, as temperaturas elevadas na usinagem das misturas asfálticas prejudicam a atmosfera, pois os produtos existentes nos asfaltos ocasionam a poluição atmosférica. Para a produção do asfalto borracha é necessário alcançar elevadas temperaturas para que ocorra a homogeneização da borracha com o asfalto convencional, conseqüentemente gerando mais poluição atmosférica (Blog borracha brasileira, 2010).

4.3 CUSTO BENEFÍCIO

O pavimento tradicional, em virtude da estruturação de suas camadas gera elevado custo, por esta razão é necessário procurar novas alternativas no mercado que disponibilizem bons resultados com custos acessíveis.

A reutilização da borracha dos pneus colabora com o meio ambiente, concede maior segurança para quem trafega nas rodovias e aumenta a vida útil para o revestimento asfáltico.

Para ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, apesar do custo mais elevado, a tecnologia para se alcançar o asfalto borracha, em torno de 20 a 25% do valor do produto, o valor de manutenção é reduzido, resultado da sua durabilidade e resistência.

Para o aparelho da Petrobrás que mede a deformação permanente e a fadiga dos pavimentos asfálticos, as modificações que o asfalto borracha sofre, passados 10 anos de utilização chegam a ser menores em até 4 vezes, e mais que o dobro de vida de fadiga podendo chegar até 3 vezes mais comparadas com pavimentos executados normalmente (CONCER, 2009).

Em 2009 uma empresa pioneira na utilização do asfalto borracha realizou um estudo comparativo, onde foi analisado um trecho de 30 km revestidos com asfalto borracha com o objetivo de mostrar que o uso do asfalto borracha quando aproveitado suas características técnicas pode tornar o mesmo com um custo menor quando comparado ao asfalto convencional (GRECA, 2009).

Foi aplicado no trecho um revestimento de asfalto borracha de 3,5cm de espessura, camada essa que possui a mesma resistência e estabilidade que um trecho de asfalto convencional de 5 cm de espessura (GRECA, 2009).

Nestas condições pode-se perceber que houve um consumo de 26.250 toneladas de asfalto tradicional e 18.375 toneladas de asfalto borracha. O custo de usinagem e aplicação e também o custo de asfalto no CBUQ do asfalto borracha foram de 15 a 20% mais caros que o asfalto convencional. A TAB. 5 mostra que se gasta menos quantidade de massa de asfalto borracha do que o asfalto convencional para o mesmo trecho de pavimento, tornando o custo final do pavimento revestido com asfalto borracha menor (GRECA, 2009).

Tabela 4.1 - Comparativo de custo entre asfalto borracha e asfalto convencional

Grandezas	Cálculo	Unidades	Tipo de Asfalto		Diferença (%)	
			CAP 50/70	AMB		
A	Quantidade de massa Asfáltica no CBUQ Produzido	-	Ton.	26.250,00	18.375,00	-30,0
B	Custo de Usinagem/Aplicação por tonelada de CBUQ aplicado	-	R\$/Ton.	200,00	230,00	15,0
C	Quantidade de massa x custo de usinagem/aplicação	AxB	R\$	R\$ 5.250.000,00	R\$ 4.226.250,00	-19,5
D	Teor de Asfalto	-	% Peso	5,00	5,50	10,0
E	Custo de asfalto por tonelada	-	R\$/Ton.	1.150,00	1.550,00	34,8
F	Custo de Asfalto no CBUQ	AxDxE	R\$	R\$ 1.509.375,00	R\$ 1.566.468,75	3,8
G	Custo Total da Obra	C + F	R\$	R\$ 6.759.375,00	R\$ 5.792.718,75	-14,3

Fonte: GRECA (2009).

A tabela mostra que o asfalto borracha se torna mais viável do que o asfalto convencional.

4.4 DURABILIDADE

De acordo com Paulo Rosa, engenheiro assessor de projetos especiais da Ecovias, geralmente o pavimento asfáltico com o ligante de borracha é 40% mais durável que o asfalto tradicional (MAZZONETTO, 2011).

Em conformidade com Specht (2000), a relação temperatura viscosidade do pavimento asfáltico com o ligante borracha não é linear. A princípio vem sendo uma vantagem visto que a mistura é mais viscosa que o ligante tradicional, dessa forma resistindo a temperaturas extremas. Contendo a maior flexibilidade a baixas temperaturas e uma maior resistência a elevadas temperaturas são aspectos que influenciam na redução de custos e de manutenção. Diante disso, ocorrerá uma diminuição na possibilidade de afundamento de trilhas de rodas, e a química presente na borracha procrastina a oxidação do asfalto, precavendo-o de se tornar quebradiço. Uma vez que a maior maleabilidade do asfalto borracha reduz a quantidades de fissuras, sendo que as aberturas delas possibilitam a absorção de água, que atua nas camadas inferiores das vias criando buracos e a danificação da superfície.

Na borracha de pneu encontram-se inibidores de raios ultravioleta e inserção de antioxidantes, diante disso a mistura resultante é extremamente resistente ao envelhecimento (Dados da *Rubberized Asphalt Concrete Technology Center – RATC*), levando o pavimento a ter uma maior resistência ao trincamento. Portanto o pavimento asfáltico com ligante de borracha, pode ser aplicado para realizar a redução da espessura do CBUQ (Concreto usinado a quente), dessa maneira ocorre a redução dos custos devido ao aumento da vida útil do asfalto e uma redução na utilização de material, sendo o resultado esperado por conta que representa uma imensa vantagem ambiental. Conforme a RPA, os pavimentos asfálticos que possuem o ligante borracha são mais maleáveis, diante de um país que utiliza as rodovias como principal meio de transporte para escoamento da produção das indústrias, diante disso a rodovia recebe um tráfego intenso de veículos com cargas pesadas, e com o asfalto modificado resulta em menos rachaduras e problemas de durabilidade, sendo características que tornam ele atraente e, em virtude de o Brasil ser um país que também prevalece elevadas temperaturas.

Segundo Armando Morilha Junior, engenheiro e diretor técnico da Greca Asfaltos Ltda, empresa pioneira na utilização do asfalto borracha no Brasil, a técnica tem sido aprovada e tem tido resultados animadores para a empresa, que já efetuou a aplicação em quase 10 mil km de rodovias.

4.5 TRABALHOS REALIZADOS COM ASFALTO BORRACHHA

Figura 4.1 – Trecho Anchieta/Imigrantes São Paulo – SP.



Fonte: Greca Asfaltos (2012).

Figura 4.2 – trecho Copacabana e Aterro do Flamengo Rio de Janeiro – RJ.



Fonte: Greca Asfaltos (2012).

Figura 4.3 – Rodovia Euclides da Cunha/Sp-320 – SP.



Fonte: Greca Asfaltos (2012).

Figura 4.4 – Stock Car Etapa de Ribeirão Preto – SP.



Fonte: Greca Asfaltos (2012).

Figura 4.5 – Boulevard Belo Horizonte - MG



Fonte: Greca Asfaltos (2012).

Figura 4.6 – Beira Mar Norte, Florianópolis – SC.



Fonte: Greca Asfaltos (2012).

Figura 4.7 – Oriximiná, Pará – PA.



Fonte: Greca Asfaltos (2012).

Figura 4.8 – Rodovia SC- 478, Timbá Grande – SC.



Fonte: Greca Asfaltos (2012).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com os objetivos principais deste trabalho, que foi a comparação entre os asfaltos convencionais, que são os mais utilizados no Brasil, e o asfalto modificado com adição do pó de borracha de pneus inservíveis, comprovou-se que as pesquisas que estão sendo realizadas têm fundamento e são essenciais para acabar com vários problemas técnicos, econômicos e ambientais.

No aspecto ambiental, o uso da borracha de pneus inservíveis em larga escala, se usada nos asfaltos, diminui efetivamente danos à natureza, e conseqüentemente aos seres humanos, pois é uma destinação correta ao que hoje é um grande problema, como relatado no trabalho, o descarte de pneus só vem aumentando com passar dos anos e geram maior impactos ambientais.

Do ponto de vista econômico, o investimento inicial da aplicação do asfalto borracha ainda é mais elevado se comparado ao convencional, pois como visto no ensaio do laboratório, é difícil manter a temperatura constante do CAP misturado com o pó da borracha, e isso em larga escala necessita de uma forte fiscalização, para que não comprometa a qualidade do asfalto. Porém o que se gasta a mais na aplicação se ganha na manutenção e na vida útil do revestimento asfáltico.

Nos ensaios ficou comprovado uma resistência superior do asfalto borracha, logo que sua resistência à carga até o rompimento foi maior se comparada ao asfalto convencional, outro ponto positivo é seu maior índice de deformação, que contribui para que haja menos trilhas de roda e trincas no asfalto, aumentando a durabilidade e a qualidade das vias rodoviárias brasileiras, que a cada ano recebe maior número de veículos.

Analisados todos os aspectos, pode-se concluir que a incorporação da borracha nos asfaltos é uma alternativa viável, que pode trazer muitos benefícios para governos e população em geral. Desta forma fica evidente que esse processo só tende a crescer, assim como em outros países.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Análise de custos de um trecho comparando o asfalto convencional com o asfalto borracha.

Avaliação dos gases poluentes que a queima da borracha produz. A utilização dos pneus é mais vantajosa se comparado aos gases liberados na atmosfera?

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12891 – Dosagem de misturas betuminosas pelo método Marshall**. Rio de Janeiro, 1993.

AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, GÁS E BIOCOMBUSTÍVEL. **Resolução ANP Nº 19**, DE 11.7.2005 DOU 17.7.2005.

ANIP (2016). **Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos**. Disponível em: <www.anip.com.br>. Acesso em: 13 março/2018

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE PNEUMÁTICOS. **Produção da Indústria Brasileira de Pneus em 2013**. Disponível em: <[http://www.anip.com.br/?cont=32&titulo_pagina=Pro du%E7%E3o](http://www.anip.com.br/?cont=32&titulo_pagina=Pro+du%27E3o)>. Acesso em: 28 março de 2018.

BALBO, J. T. **Pavimentação Asfáltica: materiais, projetos e restauração**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

BERNUCCI et al., **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros**. – Rio de Janeiro: PETROBRAS: ABEDA, 2008. 504 p.

BOLZAN, P. E. (2000). Stone-Mastic Asphalt and Micro-SMA as Premium Overlay Asphalt Mixtures on the Ricchieri Highway in Argentina. In: **ENCONTRO DO ASFALTO**, 15, 2000, Rio de Janeiro. Anais. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás.

BERTOLLO, S. A. M. **Avaliação laboratorial de misturas asfálticas densas modificadas com borracha reciclada de pneus**. 198 f. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003. Acesso em: 18/04/2018.

CAMPOS, B.A.L et al. Asfalto borracha – uma novidade com 40 anos de existência! In: **REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTÇÃO 32.**, Brasília. 2000. Anais. Brasília, Associação brasileira de Pavimentação. V1, p. 212-221, 2000.

CONAMA Conselho Nacional do Meio Ambiente. **RESOLUÇÃO N° 258**, de 26 de Agosto de 1999. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res99/res25899.html>>. Acesso em: 23 de abril de 2018.

CRONEY(1997). **Pavimentação asfáltica- formação básica para engenheiros**. Rio de Janeiro, Ed. 2008. p 9.

CONCER. **Obras em andamentos**. Acesso em: 22 novembro de 2017.

_____. DNIT 031/2006 – ES: **Pavimentos Flexíveis** – Concreto asfáltico. P. 01/15.

_____. DNER 035/95: **Peneiras de malhas quadradas para análise granulométrica de solos**. P. 01/06.

_____. DNER 043/95: **Misturas betuminosas a quente** – ensaio Marshall. P. 01/11.

_____. DNIT 111/2009 – EM: **Pavimentação flexível - Cimento asfáltico modificado por borracha de pneus inservíveis pelo processo via úmida, do tipo “Terminal Blending”** - Especificação de material. P. 01/06.

_____. DNIT 112/2009 – EM: **Pavimentos flexíveis – Concreto asfáltico com asfalto borracha, via úmida, do tipo “Terminal Blending”** - Especificação de serviço. P. 01/13.

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

FAXINA, A. L. **Estudo em laboratório do desempenho de concreto asfáltico usinado a quente empregando ligante do tipo asfalto-borracha**. 2002. 338p. Dissertação (Mestrado em Transportes). Escola de Engenharia de São Carlos-EESC. Universidade de São Paulo. São Carlos.

GRECA Asfaltos. **Artigo Linha ecoflexpave**. Disponível em:

<http://www.flexpave.com.br/leiamais_ecoflex/13_estudo_ecoflex_2009.pdf>. Acesso em: 18 abril. 2018.

GREGA ASFALTOS 2012 – **ECOFLEX**. Disponível em:

<<http://www.asfaltoborracha.com.br/vantagens-pavimentos-asfalto-borracha-ecologico>>. Acesso em 22 nov de 2017.

HANSON, D.I. et al. **Evaluati on and characterization of a rubber-modified hoi mix Asphalt pavement**. Transportation Research Record.1436, p. 98-107, 1994.

LEITE, L. M. (1999) **Estudo do Preparo e caracterização de asfaltos modificados por polímero**. Tese de Doutorado, IMA/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

MOTHÉ, M.G. **Estudo do comportamento de ligantes asfálticos por reologia e análise térmica**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ, Rio de Janeiro, 2009.

Morilha, Jr. A. e Greca, M. R. (2003). **Betume Borracha Ecoflex. Greca Asfaltos**. Curitiba, Paraná, Brasil.

MAZZONETTO, Caroline. **ASFALTO-BORRACHA**. Disponível em:

<<http://infraestruturaurbana17.pini.com.br/solucoes-tecnicas/11/asfalto-borracha-a-adicao-de-po-de-borracha-extraido-de-245173-1.aspx>>. Acesso em: 22 nov 2017.

NAPA – National Asphalt Pavement Association (2002) **Design and Constructing SMA Mixtures** – State of the Practice. Quality Improvement Series 122, EUA.

NEVES FILHO, C. L. D. (2004) – **Avaliação Laboratorial de Misturas Asfálticas SMA Produzidas com Ligante Asfalto-Borracha**. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP.

ODA, S. (2000). **Análise da Viabilidade Técnica da Utilização do Ligante Asfalto-Borracha em Obras de Pavimentação**. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2000.

SPECHT, L. P. **Avaliação de misturas asfálticas com incorporação de borracha reciclada de pneus**. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto alegre, 2004

PINHEIRO, J. H. M.; SOARES, J. B. **Realização e acompanhamento de dois trechos experimentais com asfalto-borracha no Estado do Ceará**. In: CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES, v. 18, 2004, Florianópolis. Anais... ANPET, v. 1, p. 01-10, 2004.

RESCHNER, K. **An Overview of Commercially Available Scrap Tire Processing and Rubber Recycling Methods**. April, 2002.

Romanelli Equipamentos <<http://www.romanelli.com.br/pt/equipamento/espargidores-de-asfalto/ehr-15->>. Acesso em 21 nov de 2017.

SENÇO, Wlastermiler de. **Manual de técnicas de pavimentação**: volume 1. 2. Ed. São Paulo: Pini, 2007. 761 p.

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

SILVA JR, A. **Avanço Tecnológico em Pavimentação na malha rodoviária do estado de São Paulo**. ARTESP. 2005 Disponível em: <http://www.artesp.sp.gov.br/ativa/cartilha_ativa_29a.asp#>. Acesso em: 15 de novembro de 2017.

VISSER, A.T. & VERHAEGHE, B. (2000). **Bitum em rubber: lessons in South África**. In: ASPHALT RUBBER 2000 CONFERENCE– Proceedings, Brazilian. Brazil, p 49-63, 2000.

ZATARIN, Ana Paula machado et al. **VIABILIDADE DA PAVIMENTAÇÃO COM ASFALTO-BORRACHA**. Artigo. Disponível em:

<http://www.portaldeperiodicos.unisul.br/index.php/gestao_ambiental/article/view/3323 >.

Acesso em 15 de março de 2018.