

LIGA DE ENSINO DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO UNIVERSITÁRIO DO RIO GRANDE DO NORTE
ENGENHARIA CIVIL

ANDRÉA DE FREITAS SOUZA

**ESTUDO SOBRE A VIABILIDADE ECONÔMICA E AMBIENTAL PARA A
UTILIZAÇÃO DE PNEUS INSERVÍVEIS NA PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA DE
UMA RODOVIA FEDERAL E DE UMA AVENIDA DE NATAL/RN**

NATAL/RN

2018

ANDRÉA DE FREITAS SOUZA

**ESTUDO SOBRE A VIABILIDADE ECONÔMICA E AMBIENTAL PARA A
UTILIZAÇÃO DE PNEUS INSERVÍVEIS NA PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA DE
UMA RODOVIA FEDERAL E DE UMA AVENIDA DE NATAL/RN**

Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil apresentado ao Centro Universitário do Rio Grande do Norte (UNI-RN) como requisito final para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. M.Sc. Raymison Cardoso.

NATAL/RN

2018

Catálogo na Publicação – Biblioteca do UNI-RN
Setor de Processos Técnicos

Souza, Andréa de Freitas.

Estudo sobre a viabilidade econômica e ambiental para a utilização de pneus inservíveis na pavimentação asfáltica de uma rodovia federal e de uma avenida de Natal/RN / Andréa de Freitas Souza. – Natal, 2018.
54 f.

Orientador: Prof. M.Sc. Raymison Cardoso.

Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Centro Universitário do Rio Grande do Norte.

1. Asfalto borracha – Monografia. 2. Pneus inservíveis – Monografia. 3. Meio ambiente – Monografia. 4. Economia – Monografia. I. Cardoso, Raymison. II. Título.

RN/UNI-RN/BC

CDU 624

ANDRÉA DE FREITAS SOUZA

**ESTUDO SOBRE A VIABILIDADE ECONÔMICA E AMBIENTAL PARA A
UTILIZAÇÃO DE PNEUS INSERVÍVEIS NA PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA DE
UMA RODOVIA FEDERAL E DE UMA AVENIDA DE NATAL/RN**

Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil apresentado ao Centro Universitário do Rio Grande do Norte (UNI-RN) como requisito final para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em: ____/____/____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. M.Sc. Raymison Rodrigues Cardoso

Orientador

Prof. Dr. Werner Farkatt

Coordenador TCC

Prof. Dr. Enio Fernandes Amorim

Membro Externo

Dedico este trabalho à minha família que, diante de uma simplicidade tamanha, me apoiou e foi o alicerce fundamental neste percurso, que me apoiando na busca de realizações constantemente se tornou a minha motivação, me incentivou, mesmo que indiretamente, cada dia até aqui. A todos vocês que foram, são e sempre serão a minha família, os meus agradecimentos por toda oportunidade, motivação e compreensão para a realização deste sonho.

AGRADECIMENTO

Agradeço primeiramente a Deus por ter providenciado muitas oportunidades para que essa conquista se tornasse algo concreto.

Aos meus pais por cada sacrifício, incentivos e compreensão de minhas escolhas, por todo apoio que pude sentir mesmo que de longe, pois foram vocês e por vocês que todos os meus dias tiveram sentido em tudo isso.

Ao prof. M.Sc. Raymison Rodrigues Cardoso pela oportunidade, dedicação, paciência e boa vontade em cada orientação para a elaboração deste trabalho. E ao prof. Dr. Werner Farkatt Tabosa por um ótimo desempenho na coordenação de TCC do curso de engenharia civil do UNIRN.

Aos meus amigos que me apoiaram, me incentivaram e estiveram comigo nesta caminhada, pois são os melhores que eu poderia ter.

“Damos-te graças, ó Deus damos-te
graças, pois perto está o teu nome; todos
falam dos teus feitos maravilhosos.

Salmos 75:1

RESUMO

Esta monografia tem como objetivo desenvolver um estudo sobre a viabilidade econômica e ambiental para a utilização de pneus inservíveis na pavimentação asfáltica de uma rodovia e de uma avenida de Natal/RN. Para a realização deste estudo foi necessário obter uma percepção sobre a situação atual da coleta de pneus inservíveis, do asfalto borracha e do asfalto convencional e por último – e não menos importante – a competitividade econômica, o desenvolvimento ambiental e o desenvolvimento rodoviário. Foi desenvolvido um estudo de caso composto por uma análise ambiental sobre a utilização dos pneus inservíveis em obras de pavimentação asfáltica, uma avaliação econômica de uma obra com asfalto borracha e a viabilidade econômica da transição de asfalto convencional para o asfalto borracha. O desenvolvimento da análise ambiental foi baseado em artigos sobre os impactos ambientais causados pela tecnologia do asfalto borracha. Em inspeção a BR-304/RN foi escolhido o trecho da DIV CE/RN - 'ENTR BR-101(B) (COMPLEXO VIÁRIO DO 4º CENTENÁRIO - NATAL) TRECHO URBANO e a Av. Prudente de Moraes com o Trecho R. Mossoró – Av. Alexandrino de Alencar para os tipos de pavimento a serem analisados utilizando os dados do Sistema de Custos Referenciais de Obras (SICRO) e do Projeto de Contrato de Restauração e Manutenção (CREMA) do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) e, ainda, de dados da Secretaria Municipal de Obras Públicas e Infraestrutura (SEMOV) com os quais obteremos os custos necessários para a transição do Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) para o asfalto borracha. Conclui-se que, apesar da metodologia do asfalto convencional ser a mais utilizada no Brasil, a metodologia do asfalto borracha apresenta uma melhor capacidade de minimizar os custos economizando em manutenção e de diminuir os impactos ambientais.

Palavra-chave: Asfalto borracha. Pneus inservíveis. Meio ambiente. Economia.

ABSTRACT

This monography has an important development are environmental conservation and are in use the highway economic and environmental pressurable are the rodalization and one avenue of Natal / RN. In order to carry out this study it was necessary to obtain a perception about the current situation of collection of waste tires, rubber asphalt and conventional asphalt and last but not least, economic competitiveness, environmental development and road development. A case study was developed with an environmental analysis on the use of waste tires in asphalt paving works, an economic evaluation of a work with rubber asphalt and the economic viability of the transition from conventional asphalt to rubber asphalt. The development of the environmental analysis was based on articles on the environmental impacts caused by rubber asphalt technology. In the inspection of the BR-304 / RN was chosen the section of the DIV CE / RN - 'ENTR BR-101 (B) (VILEY COMPLEX OF THE 4TH CENTENARY - CHRISTMAS) URBAN AREA and Av. Prudente de Moraes with the Section R. Mossoró - Av. Alexandrino de Alencar for the types of and the Draft Contract of Restoration and Maintenance Contract of the National Department of Transport Infrastructure and, Municipal Secretariat of Public Works and Infrastructure (SEMOV) with which we will obtain the necessary costs for the transition from Hot-Rolled Bituminous Concrete to rubber asphalt. It is concluded that, although conventional asphalt methodology is the most used in Brazil, the rubber asphalt methodology presents a better capacity to minimize costs, saving on maintenance and reducing environmental impacts.

Keyword: Asphalt rubber. Unbeatable tires. Environment. Economy.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Galpão Para Armazenamento de Pneus Inservíveis em Natal/RN	22
Figura 2 – Pontos de Coleta de Pneus Inservíveis Por Estado (2016)	23
Figura 3 – Pontos de Coleta de Pneus Inservíveis Cadastrados/RN – 2016	24
Figura 4 – Modelo Simplificado da Produção do Asfalto Borracha.....	25
Figura 5 – Aplicação do Asfalto Borracha, Rodovias Imigrantes, em SP Capital	27
Figura 6 – Restauração da Rodovia RJ-122 Realizada com Asfalto Borracha	28
Figura 7 – Capeamento de CBUQ em Função da Viscosidade-Temperatura.....	29
Figura 8 – Modelo de uma Usina de Asfalto Borracha	33

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Percentual de Cumprimento da Meta de Destinação Nacional.....	20
Gráfico 2 – Resultado do Brasil em Infraestrutura (2009-2016)	34
Gráfico 3 – Ranking de Competitividade Global: Brasil em Infraestrutura.....	35
Gráfico 4 – Investimento em Rodovias, Brasil - 2001 a 2016 (%)	36
Gráfico 5 – Investimentos Públicos em Infraestrutura de Transporte Rodoviário	37
Gráfico 6 – Dados e Custos de Execução dos Tipos de Pavimentos.....	46
Gráfico 7 – Novos Custos de Manutenção a Serem Aplicados	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados do SICRO e do Projeto CREMA	42
Tabela 2 - Quantidades de Massa Asfáltica (4cm)	42
Tabela 3 - Quantidade de Massa Asfáltica (5cm)	43
Tabela 4 – Princípios Adotados	43
Tabela 5 – Preço por Tonelada.....	43
Tabela 6 – Descrição dos Custos (4cm)	44
Tabela 7 – Descrição dos Custos (5cm)	45
Tabela 8 - Valores Exatos de Comparação	47
Tabela 9 – Resumo dos Custos de Comparação dos Tipos de Asfalto	48
Tabela 10 – Dados do SICRO	49
Tabela 11 – Quantidade de Massa Asfáltica (5cm)	49
Tabela 12 – Descrição dos Custos (5cm)	50
Tabela 13 - Pneus Inservíveis Necessários Para Uma Extensão de 1km	51
Tabela 14 - Dados para o Cálculo de KM produzidos.....	52
Tabela 15 - Massa Asfáltica para 19,15km de extensão	52
Tabela 16 - Inservíveis Necessários na Obra da Av. Prudente de Moraes, Natal/RN	Erro! Indicador não definido.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AB	Asfalto Borracha
ABEDA	Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfalto
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANIP	Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos
CAP	Cimento Asfalto do Petróleo
CAUQ	Concreto Asfáltico Usinado a Quente
CBUQ	Concreto Betuminoso Usinado a Quente
CNI	Confederação Nacional da Indústria
CNT	Confederação Nacional dos Transportes
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
CREMA	Contrato de Restauração e Manutenção
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
EAP	Emulsão Asfáltica Petróleo
IPTU	Imposto sobre Propriedade Territorial Urbana
ISC	Índice de Suporte Califórnia
SEMOV	Secretaria Municipal de Obras Públicas e Infraestrutura
SICRO	Sistema de Custos Referenciais de Obras
TLP	Taxa de Limpeza Pública

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 OBJETIVOS	14
1.1.1 Geral	14
1.1.2 Objetivos Específicos	14
1.2 JUSTIFICATIVA	15
2 METODOLOGIA	16
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
3.1 COLETA DE PNEUS NO BRASIL	18
3.1.1 Coleta de Pneus em Natal	21
3.1.2 Pontos de coleta	22
3.2 ASFALTO BORRACHA NO MUNDO	24
3.2.1 Asfalto borracha no Brasil	26
3.3 ASFALTO CONVENCIONAL	28
3.3.1 Asfalto Convencional CBUQ	29
3.4 COMPARATIVO TÉCNICO ENTRE CAP E AB	30
3.5 TECNOLOGIA DA USINA DO ASFALTO BORRACHA	31
3.6 COMPETITIVIDADE ECONÔMICA DO BRASIL NA INFRAESTRUTURA	33
3.7 DESENVOLVIMENTO RODOVIÁRIO ECONÔMICO NO BRASIL	33
3.8 DESENVOLVIMENTO AMBIENTAL NO BRASIL	37
4 ESTUDO DE CASO	39
4.1 ANÁLISE AMBIENTAL SOBRE A UTILIZAÇÃO DOS PNEUS INSERVÍVEIS EM OBRAS DE PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA	40
4.2 AVALIAÇÃO ECONÔMICA DE UMA OBRA COM ASFALTO BORRACHA	41
4.3 VIABILIDADE ECONÔMICA DA TRANSIÇÃO DE ASFALTO CONVENCIONAL PARA O ASFALTO BORRACHA	46
4.4 AVALIAÇÃO ECONÔMICA DE UMA OBRA COM ASFALTO BORRACHA NA AV. PRUDENTE DE MORAIS LOCALIZADA EM NATAL/RN	48
4.5 QUANTIFICAÇÃO DOS PNEUS NECESSÁRIOS PARA A UTILIZAÇÃO DO ASFALTO BORRACHA NA OBRA DA AV. PRUDENTE DE MORAIS LOCALIZADA EM NATAL/RN	51
5 CONCLUSÕES	53

1 INTRODUÇÃO

O pavimento é uma estrutura de múltiplas camadas construído sobre a terraplenagem e destinado, técnica e economicamente, a resistir aos esforços do tráfego e mais diretamente a ação climática. Esse pode ser classificado em 3 tipos: flexíveis, semirrígidos e rígidos e o mais utilizado no Brasil é o flexível. Logo, sabe-se que, a camada de revestimento deve ser impermeável e resistente aos esforços de contato que são variados de acordo com a carga.

Um dos objetivos de se iniciar novas pesquisas no mundo todo e em todas as áreas, é o de agrupar tecnologia com conservação ambiental levando a inovação junto com a reutilização de dejetos e resíduos jogados na natureza. Com o crescimento da frota de veículos no Brasil, ocorreu um grande aumento na produção de pneus que, consequentemente, gerou um maior número de inservíveis descartados incorretamente no meio ambiente, ocasionando assim um grande problema ambiental, pois eram descartados de forma inapropriada em rios, ruas, lixões, matas e se tornavam um grande problema para o meio ambiente e claro, para a sociedade.

Atualmente, esses inservíveis são coletados das ruas por uma companhia de serviços urbanos e direcionados para um lugar apropriado, onde serão reutilizados de forma correta e não causarão danos a população. Em Natal, 500 pneus inservíveis são recolhidos diariamente. A Companhia de Serviços Urbanos de Natal (Urbana) possui convênio com a Reciclanip que é uma entidade voltada exclusivamente para a coleta e destinação de pneus no Brasil, onde, depois de recolhidos, os pneus são levados para uma fábrica de cimento a fim de serem reaproveitados.

Uma outra solução para esses pneus surgiu nos Estados Unidos e vem sendo aplicada em alguns outros países, dentre eles, está o Brasil. É a utilização do pó proveniente da borracha do pneu para complementar a composição do asfalto, no qual acrescenta-se cerca de 20% do pó no asfalto, fazendo assim o asfalto-borracha. No Brasil já existem trechos de estradas com esse tipo de pavimentação, tais como: o trecho de serra da via Anchieta e da via Bandeirantes, ambas localizadas no estado de São Paulo. São necessários em média, 600 pneus para cada quilômetro de pavimentação. Esta prática torna mais cara a produção do asfalto, uma média de 15% a mais no custo da produção, porém, ao longo prazo os benefícios são inúmeros. O asfalto-borracha tem qualidade superior ao asfalto convencional, tem maior resistência que aumenta sua durabilidade e diminui o número de manutenções, sua

alta viscosidade reduz a possibilidade de fissuras, evita riscos de aquaplanagens em dias de chuva, e a adesão ao agregado asfáltico é melhor. Lembrando ainda que essa prática também diminuirá o número de pneus descartados indevidamente em Natal, diminuindo os danos ao meio ambiente.

Diante das intempéries do mercado, um fator que permanece em evidência é a importância de uma pavimentação asfáltica que nos proporciona o direito de ir e vir em segurança, mais conforto, acesso à saúde e educação, e não se pode esquecer que hoje, as rodovias são muito mais importantes para a economia do país por serem as artérias do Brasil mais utilizadas para o transporte de mercadorias. Então, por que não investir em novas tecnologias nas rodovias? Tendo em vista que, esse maior investimento, tem um retorno ao longo prazo de inúmeros segmentos da economia.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Geral

Apresentar um estudo sobre a viabilidade econômica e ambiental para a utilização de pneus inservíveis na pavimentação asfáltica de uma rodovia e de uma avenida da cidade do Natal/RN.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Realizar uma análise ambiental sobre a utilização dos pneus inservíveis em obras de pavimentação asfáltica;
- Estudar a viabilidade econômica da transição de asfalto convencional para o asfalto borracha;
- Realizar uma avaliação econômica de uma obra com asfalto borracha na Av. Prudente de Moraes localizada em Natal/RN;
- Quantificar os pneus necessários para a utilização do asfalto borracha na obra da Av. Prudente de Moraes localizada em Natal/RN.

1.2 JUSTIFICATIVA

A região nordeste enfrenta uma necessidade de inovação tecnológica, assim como todo o Brasil. No Brasil se tem um elevado consumo de pneus devido a necessidade de veículos para uma locomoção mais ágil, confortável e segura, pois o modal rodoviário é ainda o mais utilizado. Em Natal, segundo dados corroborados da Reciclanip, atualmente 500 pneus inservíveis são recolhidos diariamente na cidade que gera um acúmulo de pneus que necessitam de um destino ambientalmente correto.

Em Natal, o número de pneus coletados está sendo disponibilizados para um outro estado. Sabe-se que, se esses dejetos coletados fossem utilizados para o próprio município, o mesmo seria aplicado de diversas maneiras já encontradas, tais como: tapetes para automóveis, pisos industriais, decoração, etc. e entre essas, uma que não é nova no Brasil, mas que seria novidade em Natal por não ter, ainda, uma aplicabilidade que é o asfalto borracha. Essa tecnologia traria um novo estilo de vida, melhorias para a saúde, possíveis melhorias no impacto ao meio ambiente e possíveis melhorias para a economia.

A tecnologia asfalto borracha é composta de ligante asfáltico e 20% de borracha moída com granulometria de 0,6 a 1,2 mm, onde, vale ressaltar que utilizando uma porcentagem de borracha superior a esta o produto pode perder em qualidade, diminuindo sua resiliência, e, utilizando uma granulometria inferior ou superior a citada anteriormente pode não atingir o resultado desejado de aplicabilidade de forma a não garantir uma boa estabilidade da mistura. O ligante asfáltico e a borracha moída devem ser misturados em uma temperatura superior à 177° durante 20 minutos. A temperatura utilizada pelas concessionárias é de 190°. Diante de tais informações, o município de Natal/RN pode adquirir essa tecnologia pois não há diferença de aplicabilidade entre região e foi aplicado com sucesso em São Paulo, Minas Gerais e Paraná.

A importância deste trabalho justifica-se por acreditar que a utilização da borracha de pneu inservível pode colaborar na preservação do meio ambiente e que, ao longo prazo, poderá contribuir economicamente e trazer segurança à população. Com isso, compreende-se ainda que, pode minimizar os efeitos traumáticos dos resíduos sólidos para o meio ambiente.

2 METODOLOGIA

Este trabalho visa estudar a viabilidade econômica e ambiental da aplicação de pneus inservíveis na pavimentação asfáltica do município de Natal. Para o desenvolvimento do presente trabalho foram realizadas pesquisas bibliográficas sobre o tema em questão, visando entender as diferentes variáveis para a aplicação desta tecnologia em Natal sabendo que a mesma não apresenta nenhuma indústria nessa linha de atuação e, visando ainda, a potencialidade da aplicabilidade deste método economicamente e ambientalmente sustentável de acordo com as condições desta cidade que poderá ou não o receber.

A análise econômica de determinados fatores, como custo de produção de massa asfáltica, seja convencional, seja de borracha, além da previsão de durabilidade de ambas, o que produzirá o embasamento teórico para o estudo de caso no qual contemplará a rodovia BR 304/RN de Trecho DIV CE/RN - 'ENTR BR-101(B) (COMPLEXO VIÁRIO DO 4º CENTENÁRIO - NATAL) *TRECHO URBANO* e Subtrecho: ENTR RN-042/263 (ANGICOS) - 'ENTR BR-226(A) do Segmento 149,50 km ao km 281,00 com Extensão de 131,50 km no Lote 2 usada como referência com as seguintes características geométricas, sendo 37,6 km de extensão com 7 m de largura para 3 cm de espessura, 5,3 km de extensão com 7 m de largura para 4 cm de espessura, 14,8 km de extensão com 7 m de largura para 5 cm de espessura e ambos com uma densidade de 2,425 t/m³. Ainda para o desenvolvimento da análise econômica, este trabalho contemplará a Av. Prudente de Moraes com o Trecho R. Mossoró – Av. Alexandrino de Alencar utilizando 347,40 m de extensão com 0,12m de largura para 5cm de espessura e densidade igual a 2,425 t/m³. A análise ambiental irá providenciar o embasamento teórico de uma parte do estudo de caso que, por sua vez, conterà parâmetros comparativos ambientais do asfalto convencional para o asfalto borracha, tais como: os efeitos ambientais dessa aplicabilidade no lençol freático, o impacto à saúde da população, etc. Além de comparativo de custo de implantação desses diferentes tipos de revestimento ao longo do tempo.

Para a realização do estudo de caso deste trabalho, utilizaremos ainda de dados do Sistema de Custos Referenciais de Obras (SICRO) do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) e de dados da Secretaria Municipal de Obras Públicas e Infraestrutura (SEMOV) que, em sua totalidade, verificou-se os custos necessários para a transição do Concreto Betuminoso Usinado a Quente

(CBUQ) para o asfalto borracha usando como referência as características geométricas escolhidas, podendo então verificar a viabilidade econômica. Realizaremos uma análise com dados ambientais na qual disponibilizará resultados sobre a viabilidade ambiental desta transição e, por fim, levantaremos uma quantificação de pneus necessários para a utilização da tecnologia em questão na avenida Prudente de Moraes situada em Natal/RN.

Esta metodologia está fundamentada através de referências bibliográficas, pois toda e qualquer publicação através do tema abordado poderia possuir informações indispensáveis para uma melhor compreensão, foram necessárias, também, pesquisas junto a empresas que já utilizaram esta alternativa.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 COLETA DE PNEUS NO BRASIL

Entre os resíduos sólidos produzidos pela população, os pneus ocupam papel de destaque na discussão dos impactos sanitários e ambientais. Atualmente os aterros sanitários não os recebem inteiros, pois tais resíduos por terem vida longa e superar os constantes impactos, tornam-se estruturas difíceis de serem eliminadas. Quando são compactados inteiros, os pneus tendem a voltar à sua forma original e retornam à superfície, causando uma movimentação no solo (GOMES, 1993).

Na década de 20, iniciou-se as atividades da indústria de pneumáticos no Brasil. Em 1960, ocorreu a fundação da Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos (ANIP), entidade sem fins lucrativos cujo objetivo é defender os interesses do setor. Em 1999 foi o início do Programa Nacional de Coleta e Destinação de Pneus Inservíveis com base na resolução 258/99. No ano de 2007 ocorreu a criação da Reciclanip para fortalecer as iniciativas já criadas, na qual segue o modelo de gestão de empresas europeias com grande experiência na coleta e destinação de pneus inservíveis. Na atualidade, a resolução seguida é a 416/09 do CONAMA (IBAMA, 2017).

A Reciclanip cuida exclusivamente das ações de coletas e reciclagem de pneus inservíveis. Essa entidade representa as empresas fabricantes de pneus no Brasil. Suas atividades são sustentadas pelo investimento de empresas. Neste ponto, a Reciclanip é diferente das empresas europeias, uma vez que, em outros países, as empresas são pagas pelos vários agentes da cadeia produtiva para cobrir as despesas operacionais e garantir a destinação de pneus inservíveis. E, é ainda, a responsável pela criação dos pontos de coleta com parceiros, pela gestão da logística reversa do produto e pelo fomento para novas destinações. As metas são calculadas e fiscalizadas em toneladas. Para o cálculo de meta de toneladas, é aplicado um fator de desgaste de 30% sobre o peso do pneu novo (IBAMA, 2017).

Primeiramente, de acordo com o Conselho Nacional do Meio Ambiente, foi instituída a responsabilidade pós-consumo ao fabricante e ao importador do produto e, posteriormente, a corresponsabilidade pela coleta aos distribuidores, revendedores e consumidores. Na atualidade, o Brasil conta com pontos de coleta distribuídos em todos os estados e Distrito Federal, criados, a princípio, em parceria, com prefeituras

de municípios que tem mais de 100 mil habitantes.

A marca de mais de 4,1 milhões de toneladas de pneus inservíveis recolhidos equivale a 821 milhões de pneus de carro de passeio. Desde o início do programa, em 1999, os fabricantes de pneus já investiram R\$ 898,8 milhões na iniciativa. “Por pneus inservíveis entende-se como sendo aqueles que não têm mais condições de serem utilizados para circulação ou reforma”, explica o gerente da Reciclanip, Cesar Faccio.

Desde 2010, ano do relatório do IBAMA, a Reciclanip vem ultrapassando sua meta logística. Por exemplo, em 2015, a mesma superou a meta de logística reversa estabelecida pelo IBAMA chegando a 101,7% de recolhimento e destino correto de pneus. O Brasil registra um passivo ambiental de 179,5 mil toneladas de pneus inservíveis de responsabilidade dos importadores que não cumpriram sua meta. Por isso, uma das tarefas da ANIP é buscar junto ao governo federal medidas que equacionem esse passivo, sugerindo que a concessão de licenças de importação seja liberada apenas para aqueles que tiverem um contrato de gestão ambiental ou que paguem uma taxa para a destinação ambiental de pneus inservíveis em volume correspondente à importação (IBAMA, 2017).

Segundo levantamento da Confederação Nacional da Indústria (CNI) em parceria com a consultoria LCA, a incidência tributária sobre a coleta, triagem, transporte e reciclagem dos pneus custou R\$ 9,3 milhões ao setor em 2013 e R\$ 12,1 milhões no último ano. A ANIP explica que a desoneração dos resíduos sólidos, além de estimular seu uso como matéria-prima, contribui para baixar o custo gerado na logística reversa onerosa dos pneus, da mesma forma que o de outros produtos. Para Faccio, a desoneração total de impostos e taxas – inclusive ICMS pelo transporte de pneus inservíveis inteiros ou triturados – tornará a matéria-prima mais competitiva com o produto virgem na fabricação de artefatos, além de ter sua utilização ampliada nas ruas e estradas brasileiras por meio do asfalto borracha. “Nosso intuito é adotar um sistema similar ao da Europa, onde o custo é coberto por uma taxa paga pelo consumidor na hora da aquisição do pneu, o que divide a responsabilidade por toda a cadeia e também os importadores independentes, parte dos quais não realiza o recolhimento”, conta o gerente geral da ANIP.

O cumprimento da meta de destinação nacional manteve-se superior a 90%. As empresas fabricantes e importadoras de pneus novos alcançaram 96,66% da meta prevista. O gráfico 1 apresenta a evolução histórica dos valores da meta de destinação

nacional.

Gráfico 1 – Percentual de Cumprimento da Meta de Destinação Nacional



Fonte: Ferreira (2017).

Segundo a Norma Brasileira 10.004 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), os pneus são considerados resíduos classe III (resíduos inertes) em relação ao risco de sua degradação ao meio ambiente. São muitos os problemas ambientais gerados pela destinação inadequada dos pneus:

- Seu reaproveitamento em aterros sanitários é prática ecológica duvidosa, tanto pela diferença de tempo de degradação em relação aos outros materiais utilizados, como também por provocarem um oco na massa dos resíduos, causando instabilidade dos aterros.
- Devido à sua composição química, o pneu é um produto de fácil combustão, podendo causar incêndios de difícil controle em aterros e liberando nessas ocasiões no solo, no ar, e no lençol freático gases e óleos tóxicos e cancerígenos. Por essa razão, a queima de pneus a céu aberto é uma atividade proibida no Brasil e na maioria dos países do mundo.
- Além dos riscos já expostos, as carcaças expostas a céu aberto têm o inconveniente sanitário de servirem como foco de proliferação de insetos e roedores, dificultando o controle de doenças como a dengue, a malária e a febre amarela, constituindo assim, também uma grave ameaça à saúde pública. Há suspeitas, por exemplo, de que o mosquito *Aedes albopictus*, um dos vetores do vírus da dengue e da febre amarela, tenha entrado no

território nacional em carregamentos de pneus já usados, vindos dos EUA e do Japão.

3.1.1 Coleta de Pneus em Natal

A coleta de pneus em Natal se firmou após o Ministério da Saúde lançar, no período de 19 a 23 de setembro de 2015, uma mobilização nacional que continuou sendo realizada no Rio Grande do Norte com o apoio da Secretaria de Estado da Saúde Pública, através da Sala de Situação e Diretorias Regionais de Saúde, além das Secretarias Municipais de Saúde e dos Serviços de Limpeza Urbana. A ação contou com a participação da Reciclanip. O objetivo do Ministério da Saúde era eliminar possíveis focos do mosquito *Aedes aegypti* nos pneus, que podem acumular água e favorecer a proliferação do mosquito (DJAILDO, 2016).

Coletar, separar e destinar de forma correta 1.100 toneladas de resíduos diariamente é o desafio da Urbana - Companhia de Serviços Urbanos de Natal. Boa parte dessa tarefa é executada pela Prefeitura do Natal com recursos da Taxa de Limpeza Pública (TLP), que é cobrada junto com o Imposto sobre Propriedade Territorial Urbana (IPTU). Os custos mensais com as atividades se aproximam dos R\$ 13 milhões (MESQUITA, 2016).

Natal produz de Resíduos Sólidos Urbanos ou Resíduos domiciliares – 800 toneladas diárias. Aproximadamente 45% é lixo seco (papel, plástico, papelão e metais) e 55% é lixo úmido (matéria orgânica). “Esse tipo de resíduo mandamos, após uma seletividade (que não é ainda em sua totalidade, mas em grande parte) para a Braseco, que é o aterro sanitário para dar destino correto ao material”, revela Thiago Mesquita – diretor de operações da Urbana. Além da parte domiciliar, a empresa de limpeza urbana precisa lidar com outros tipos de material. “Temos também o recolhimento de Resíduos Sólidos Especiais. Esses são de três tipos: pneus, podas e entulhos. Os pneus ficam armazenados em um galpão que temos no Alecrim (Figura 1), que depois são destinados para a reciclagem. As podas e entulhos nós recolhemos e são utilizados para recuperar áreas degradadas de atividades de mineração, ou seja, aquelas valas, ou buracos gigantes. Atualmente nós estamos destinando esse material para a recuperação de uma área degradada no bairro dos Guarapes”, revela o diretor. Nesses locais de recuperação é deposto o material inerte, que não contamina o solo, para poder recuperar topograficamente as áreas.

A Urbana segue diariamente uma rota de coleta que abrange as quatro regiões de Natal. Após a coleta, os pneus são levados para um galpão situado no bairro do Alecrim, e posteriormente transportados para a capital da Paraíba. A medida além de gerar economia, uma vez que os pneus são utilizados como combustível em uma cimenteira localizada na cidade de João Pessoa, contribui para a preservação do meio ambiente e evita a proliferação do mosquito da dengue. “A Associação Nacional de Indústrias de Pneumáticos, por meio da Reciclanip recolhe a cada 15 dias os pneus, para fabrico de cimento na capital paraibana. Os pneus velhos são usados na alimentação dos fornos”, explicou Bosco Afonso, Diretor Presidente da Urbana. As empresas cadastradas pela Urbana guardam os pneus para serem recolhidos, e o custo dessa coleta é todo da Companhia de Serviços Urbanos de Natal. Em 2016 foram mais de 142 mil pneus recolhidos ao galpão, e em maio de 2017 já são 47 mil pneus. Para o presidente da Urbana, Cláudio Porpino, a iniciativa da empresa é importante. Atualmente 500 pneus inservíveis são recolhidos diariamente em Natal (MESQUITA, 2016).

Figura 1 – Galpão Para Armazenamento de Pneus Inservíveis em Natal/RN



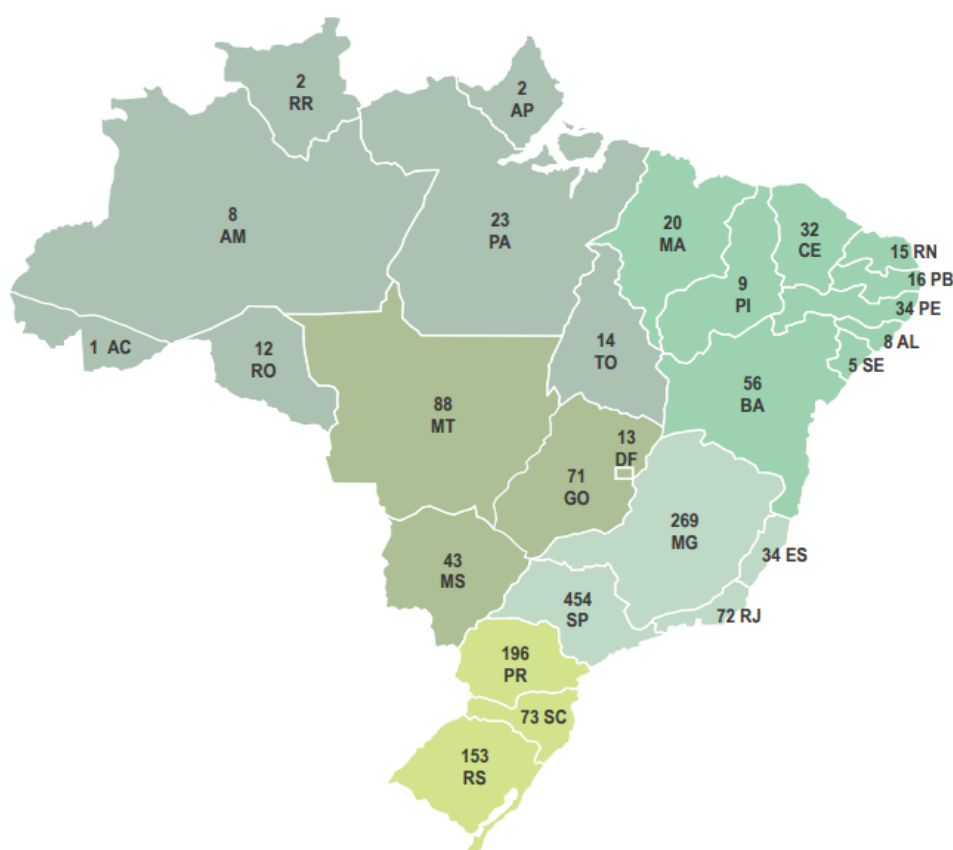
Fonte: Urbana (2011).

3.1.2 Pontos de coleta

O programa é desenvolvido por meio de parceiros, na maioria dos casos com prefeituras que cedem um terreno dentro de normas específicas de segurança e higiene. Este local é usado para recolher e armazenar o material vindo de origens diversas, como borracharias, revendedoras e dos próprios cidadãos. O responsável

pelo ponto de coleta comunica a Reciclanip sobre a necessidade de retirada do material quando atinge a quantidade de 2000 pneus de passeio ou 300 pneus de caminhões. A partir daí, a empresa programa a retirada do material com os transportadores conveniados. É importante que a área do ponto de coleta seja coberta e protegida, a fim de se evitar o acúmulo de água ou mesmo a entrada de pessoas não autorizadas. A figura 3 demonstra através de um mapa a quantidade de pontos de coletas cadastrados em cada estado. Em 2016, foram cadastrados 1.723 pontos de coleta, sendo 932 localizados em municípios com população residente acima de 100 mil habitantes, restando 13 municípios com essa característica, sem nenhum ponto de coleta declarado. A figura 2 apresenta a relação completa dos municípios e dos pontos de coleta. A figura 3 apresenta a relação completa do Rio Grande do Norte. (IBAMA, 2017).

Figura 2 – Pontos de Coleta de Pneus Inservíveis Por Estado (2016)



Fonte: Ferreira (2017).

Figura 3 – Pontos de Coleta de Pneus Inservíveis Cadastrados/RN – 2016**RIO GRANDE DO NORTE**

Município	Estado	ENDEREÇO	Capacidade (unidade)
CAPACIDADE TOTAL DO ESTADO			24.400
CAICO	RN	RUA VALDIR EPAMINONDAS LOPES, 635 – Walfredo Gurgel	2000
CARNAUBA DOS DANTAS	RN	RUA JOSÉ MATIAS, 22 – CENTRO	2000
CURRAIS NOVOS	RN	RODOVIA BR 427, KM 02 – PARQUE INDUSTRIAL	2000
MOSSORO(*)	RN	AVENIDA CUNHA DA MOTA, 28 - CENTRO	100
MOSSORO(*)	RN	RUA JOSÉ DAMIÃO, 225 – SANTO ANTÔNIO	2000
NATAL(*)	RN	AVENIDA GOVERNADOR ANTONIO DE MELO E SOUZA, 2038-A	4000
NATAL(*)	RN	AVENIDA OESTE S/N – CIDADE NOVA	2000
NATAL(*)	RN	PRAÇA JOSÉ DA PENHA, 145 – RIBEIRA	100
NATAL(*)	RN	RUA MANOEL MASCARENHAS HOMEM, 105 – SAN VALLE	2000
PARNAMIRIM(*)	RN	AVENIDA PILOTO FERREIRA TIM, 803	100
PARNAMIRIM(*)	RN	AVENIDA PILOTO PEREIRA TIM, 848 – PARQUE DE EXPOSIÇÕES	2000
PARNAMIRIM(*)	RN	RUA FELIZARDO MOURA, S/N – LIBERDADE	2000
PARNAMIRIM(*)	RN	RUA GASPAR HENRIQUE CRUZ, 265	100
SANTA CRUZ	RN	RUA OLAVO BILAC, S/N	2000
SAO GONCALO DO AMARANTE	RN	LOTEAMENTO OLHO D'ÁGUADO CARRILHO	2000

Fonte: Ferreira (2017).

3.2 ASFALTO BORRACHA NO MUNDO

O asfalto borracha é um ligante asfáltico que agrega inovação, economia e sustentabilidade ao pavimento, concebido por meio de um grande investimento em pesquisas por um produto de alta durabilidade e segurança, que traz consigo o respeito pelo meio ambiente e futuras gerações (MORILHA JÚNIOR, 2016).

No mundo, o asfalto-borracha começou na década de 40, quando a Companhia de Reciclagem de Borracha, *U.S. Ruber Reclaiming Company*, introduziu no mercado um produto composto de material asfáltico e borracha desvulcanizada reciclada denominada *Ramflex™* (WICKBOLDT, 2005).

Na década de 60, Charles H. MacDonald, considerado o pai do Asfalto-borracha nos Estados Unidos, em 1963 desenvolveu um material altamente elástico para ser utilizado na manutenção de pavimentos asfálticos. O produto era composto de ligante asfáltico e 20% de borracha moída de pneu (de 0,6 a 1,2 mm), misturados à 190°C durante 20 minutos, para ser utilizado em remendos conhecidos como

bandaid (WICKBOLDT, 2005).

Diversos países adotaram o asfalto borracha não apenas como uma boa solução ecológica, mas como uma maneira de se obter pavimentos mais resistentes, com um preço razoável e com baixa necessidade de manutenção. Nos Estados Unidos, onde foi inventado, o asfalto borracha é usado há cerca de 40 anos e já possui mais de 70% da malha viária do Arizona revestidas pela massa com pó de borracha. A França começou a utilizar ligantes de asfalto-borracha em 1982 e, em seis anos, mais de 3.000.000 m² deste material foram aplicados em diferentes tipos de revestimentos (MAZZONETTO, 2011).

O material é caracterizado por mistura com liga de asfalto modificado por borracha triturada de pneus e compactado a quente, procedimento utilizado para aumentar a ligação entre as partículas para a produção em escala comercial. A figura 4 mostra um modelo esquematizado e simplificado da produção do asfalto borracha.

Figura 4 – Modelo Simplificado da Produção do Asfalto Borracha



Fonte: Figueiredo (2013).

3.2.1 Asfalto borracha no Brasil

Os primeiros passos para a utilização no Brasil do Asfalto Borracha, ou AMB, se fundem com a criação do artigo nº 2 da resolução 258/99 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA). O artigo proíbe o descarte de pneu no meio ambiente, inclusive a queima em céu aberto. Com isto, surge a necessidade de se redirecionar a destinação de pneus inservíveis. O ano 1999 marca o início das primeiras pesquisas pelo AMB no Brasil. Uma parceria entre a GRECA e o Laboratório de Pavimentação da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (LAPAV) – garante o avanço nos resultados. Os estudos focam em uma tecnologia que utilize borracha a fim de melhorar as propriedades do asfalto comum. Em agosto de 2001 ocorreu a primeira aplicação no Rio Grande do Sul. A GRECA asfaltos se orgulha tanto pelo pioneirismo como pela própria evolução pela qual o ECOFLEX passou nestes mais de 10 anos existência. Hoje a tecnologia do produto está em sua 3ª geração, diferencial que enfatiza a diminuição de emissões de CO₂ e NO₂ proveniente do consumo de combustíveis durante a operação. Em 2005 foi o ano da busca por produtos especiais. Ao todo, foram mais de 400 km de rodovias pavimentadas com o ECOFLEX durante o ano. As regiões Sul e Sudeste se destacam na demanda pelo produto. A preferência pelo Asfalto-Borracha ganha espaço após a normatização do produto por órgãos como o DER/PR e DEINFRA/SC. Em dezembro de 2006, nove trabalhos técnicos brasileiros destacam-se no evento de importância nacional: Asphalt Rubber 2006 – *The road to success*. Durante o ano, destacam-se obras da Concessionária Ecovias dos Imigrantes, nas rodovias Anchieta e Imigrantes (Figura 5). E, neste mesmo ano o Laboratório de Pavimentação da Escola de Engenharia da UFRGS (LAPAV) – finaliza a pesquisa intitulada “Estudo comparativo do Desempenho de um Recapeamento Utilizando Asfalto-Borracha em Pavimento Flexível”. O estudo se destaca como um dos mais importantes sobre o Asfalto-Borracha.

Figura 5 – Aplicação do Asfalto Borracha, Rodovias Imigrantes, em SP Capital



Fonte: Mazzonetto (2011).

O DER/SP apresenta norma técnica para execução de obras com o Asfalto-Borracha, em 2007. Com isso, aplicações no estado de São Paulo aumentam significativamente. Ao mesmo tempo, uma parceria técnica com engenheiros sul-africanos resulta na primeira obra de Tratamento Superficial utilizando equipamentos de tecnologia brasileira. O Brasil destaca-se pelas inúmeras aplicações bem-sucedidas (Figura 6). A 3ª geração do ECOFLEX foi lançada em 2010 representando avanços tecnológicos no produto que refletem em fatores econômicos e ecológicos. Tais melhorias reduzem o consumo de combustíveis utilizados para usinagem do produto. Diminuiu-se o impacto ambiental pela menor emissão de gases tóxicos. No ano, destacam-se obras em larga escala por todo o Brasil, conduzida por órgãos como DNIT, DER do Paraná e São Paulo, DEINFRA - de Santa Catarina e diversas concessionárias como SPVIAS, Grupo EcoRodovias e AUTOBAN. A GRECA¹ encerra o ano contribuindo com mais de 650 quilômetros de vias pavimentadas com o ECOFLEX. O Asfalto Ecológico alcança, em 2012, uma histórica e representativa marca. Com mais de 5 mil quilômetros pavimentados e chega ao número de 5 milhões de pneus retirados da natureza. Estes valores se devem ao fato de que para cada

¹José Antonio Antosczezem Junior, 2012, artigo histórico disponibilizado pela Greca Asfaltos.

quilômetro pavimentado com o Asfalto-Borracha, são utilizados cerca de mil pneus inservíveis. Em 2017, a expectativa é de que após 9 mil quilômetros de ruas, vias e rodovias pavimentadas, os dados cheguem aos 10.000.000 de pneus consumidos na produção do asfalto-borracha no Brasil.

Figura 6 – Restauração da Rodovia RJ-122 Realizada com Asfalto Borracha



Fonte: Mazzonetto (2011).

3.3 ASFALTO CONVENCIONAL

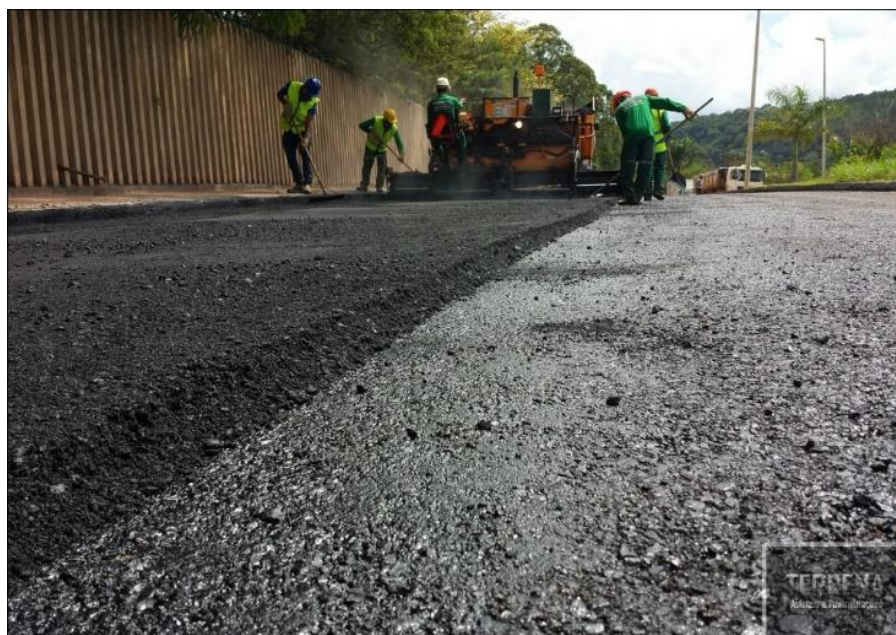
Os Pavimentos flexíveis é uma das soluções mais utilizadas na construção e recuperação de vias urbanas, vicinais e de rodovias. Segundo dados da Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfalto (ABEDA), o sistema de pavimentação é formado por quatro camadas principais: revestimento de base asfáltica, base, sub-base e reforço do subleito. Dependendo da intensidade e do tipo de tráfego, do solo existente e da vida útil do projeto, o revestimento pode ser composto por uma camada de rolamento e camadas intermediárias ou de ligação. Mas nos casos mais comuns, utiliza-se uma única camada de mistura asfáltica como revestimento (NAKAMURA, 2011).

O asfalto pode ser fabricado em usina específica, fixa ou móvel, ou preparado no mesmo local da aplicação. Além da forma de produção, os revestimentos também podem ser classificados quanto ao tipo de ligante utilizado: a quente com o uso de

concreto asfáltico, o chamado Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) ou a frio com o uso de Emulsão Asfáltica Petróleo (EAP). (NAKAMURA, 2011).

O CBUQ é o mais empregado no Brasil. Trata-se do produto da mistura de agregados de vários tamanhos e cimento asfáltico, ambos aquecidos em temperaturas previamente escolhidas (Figura 7), em função da característica viscosidade-temperatura do ligante (BALDO, 2007).

Figura 7 – Capeamento de CBUQ em Função da Viscosidade-Temperatura



Fonte: Asfalto (2017).

3.3.1 Asfalto Convencional CBUQ

O Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) ou também designado como Concreto Asfáltico Usinado a Quente (CAUQ) pode ser considerado a mais comum e tradicional mistura asfáltica a quente empregada no país, utilizado na construção dos revestimentos de pavimentos, incluindo as capas de rolamento e camadas de ligação (BALBO, 2007).

O CBUQ é um revestimento flexível, mas sua escolha depende da natureza dos serviços e dos equipamentos disponíveis. Possui propriedades e qualidades como: impermeabilidade, adesividade, aglutinante, durabilidade, possibilidade de trabalho a diversas temperaturas e preço vantajoso (SENÇO, 2001, v. 1).

Para Balbo (2007) o CBUQ é obtido através da mistura e homogeneização de

agregados minerais, de material fino de enchimento e cimento asfáltico de petróleo. Portanto, é feito de uma mistura elaborada a quente e usina misturadora. Para a sua produção, os agregados deverão estar dosados de forma correta, perfeitamente seca, através do tambor de aquecimento, onde sua temperatura é elevada a um valor compatível ao da usinagem do Cimento Asfalto do Petróleo (CAP) para evitar a queda da temperatura da mistura final que deverá chegar até a pista entre 140 a 145°C.

3.4 COMPARATIVO TÉCNICO ENTRE CAP E AB

No que diz respeito às características do asfalto convencional e do asfalto borracha, um dos aspectos relevantes é a formação de trincas e fissuras nos pavimentos. Segundo Bernucci et al, (2007) os pavimentos com asfalto borracha têm maior resistência ao trincamento e as deformações permanentes (trilhas de rodas). Isso é possível uma vez que a mistura asfáltica adquire uma parte da capacidade elástica da borracha, e dessa forma, é capaz de deformar na passagem dos veículos e voltar a sua posição inicial, diminuindo assim as deformações indesejáveis. (BERNUCCI et al., 2007).

Um fator importante é que o asfalto borracha devido a algumas substâncias da borracha como o negro de fumo (*black carbon*) protege o asfalto contra o desgaste químico decorrente da exposição do pavimento aos raios infravermelho e ultravioleta que são muito intensos no País, dessa forma, evitando o envelhecimento precoce do asfalto (BERNUCCI et al., 2007).

Outro fator favorável à utilização de asfalto borracha é que permite a construção de pavimentos rugosos, porosos e auto drenantes, o que diminui o efeito de aquaplanagem causado pelo acúmulo de águas na rodovia (RODOVIAS; VIAS, 2012).

Há outros fatores em que o asfalto borracha é melhor do que o asfalto convencional. O asfalto borracha proporciona uma melhor aderência, reduz o ruído em até 85%, reduz o envelhecimento e suscetibilidade térmica, e aumenta a resistência à fadiga e a formação de trilhos de roda, além de proporcionar uma destinação final apropriada aos pneus inservíveis, ajudando assim o meio ambiente. Embora o ligante com asfalto borracha seja mais caro, esse custo é compensado devido aos baixos custos de manutenção ao longo dos anos (GRECA..., 2003).

Segundo Zanzotto e Svec (1996) e Asphalt Rubber Pavement Association (apud GRECA..., 2003) o ligante modificado por borracha granulada de pneus ou simplesmente asfalto borracha, apresenta as seguintes características:

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

Segundo Bernucci et al. (2007), como desvantagem construtiva, altos teores de borracha levam a altas viscosidades, que comprometem a trabalhabilidade da mistura asfáltica. Além disso, pode-se destacar que as temperaturas de usinagem são pouco maiores em relação ao asfalto convencional.

Os desempenhos do asfalto borracha e do asfalto convencional podem ser avaliados por meio de diversos ensaios de laboratório como por exemplo: Ponto de Amolecimento; Ductilidade; Adesividade; Viscosidade; Penetração, dentre outros (BERNUCCI et al., 2007).

3.5 TECNOLOGIA DA USINA DO ASFALTO BORRACHA

De acordo com Wickboldt (2005), existem dois métodos de se obter o asfalto borracha: por via seca ou via úmida. No processo a seca a borracha é introduzida diretamente no misturador da usina de asfalto. Neste caso a borracha entra como um agregado na mistura. A transferência de propriedades importantes da borracha ao

ligante é prejudicada, embora seja possível agregar melhorias à mistura asfáltica, desde que na sua fabricação seja possível obter uma mistura homogênea. No processo seco, os grânulos da borracha representam de 0,5 a 3,0% da massa do agregado. No processo via úmida, a borracha é previamente misturada ao ligante, o modificando permanentemente. Assim, ocorre a transferência mais efetiva das características de elasticidade e resistência ao envelhecimento para o ligante asfáltico convencional. No processo úmido o pó de pneu representa de 15% a 20% da massa do ligante ou menos que 1,5% da massa da mistura. Alguns fragmentos de borracha são misturados ao cimento asfáltico aquecido, produzindo novo tipo de ligante denominado Pavimento Modificado com Borracha de Pneus (PMB). No processo úmido, o ligante asfalto-borracha é obtido a partir da adição da borracha triturada ao ligante asfáltico, sob temperaturas entre 175 e 200°C. Após o período de reação, o produto fica armazenado em um tanque, que deve conter um sistema mecânico de agitação constante, a fim de manter a mistura dispersa, de forma a evitar a deposição das partículas, que não reagiram parcialmente, com o ligante asfáltico.

Para o analisador de pavimentos asfálticos da Petrobras, aparelho que mede a fadiga e a deformação permanente, as modificações sofridas pelo asfalto borracha, após dez anos de uso, chegam a ser 4 vezes menores, e a vida de fadiga é mais que o dobro, chegando em alguns casos ao triplo daquela dos pavimentos executados com asfalto convencional (CONCER, 2009).

Os materiais utilizados nas misturas para a fabricação do asfalto-borracha são: borracha de pneus descartados moídos e cimento asfáltico de petróleo, sendo a borracha utilizada no ligante proveniente principalmente de pneus de automóveis. (ODA; FERNANDES JÚNIOR, 2001). A figura 8 traz um modelo de usina de asfalto borracha situado no estado de São Paulo.

Figura 8 – Modelo de uma Usina de Asfalto Borracha



Fonte: Mazzonetto (2011).

3.6 COMPETITIVIDADE ECONÔMICA DO BRASIL NA INFRAESTRUTURA

O fator Infraestrutura foi o único que apresentou uma melhora significativa no ano de 2016 com o ganho de 7 posições (46^a), como mostram os gráficos 2 e 3. Este fator passou por várias oscilações ao longo do tempo. O subfator infraestrutura básica manteve seus indicadores relativamente estáveis e obteve ganhos relativos aos demais países ao subir 5 posições. Este ganho se deu em parte devido à melhoria de 8 posições na variável “acesso a água” que em 2015 devido à crise hídrica colocou o Brasil na última posição neste indicador. Gestão da logística, distribuição, infraestrutura energética e transporte pluvial continuam entre os piores do mundo ocupando o país as posições últimos no ranking (gestão da logística: 60º; distribuição: 60º, infraestrutura energética: 58º, transporte pluvial: 59^a). Neste bloco de variáveis de infraestrutura básica além da melhoria no acesso a água a única variável que apresenta melhorias relevantes foi na qualidade do transporte aéreo tendo saído da 59^a posição em 2015 para a 53^a posição em 2016. Muito aquém das necessidades do país, mas consistente com os movimentos de privatização e investimentos na infraestrutura aeroportuária brasileira (PROF. CARLOS ARRUDA, 2017).

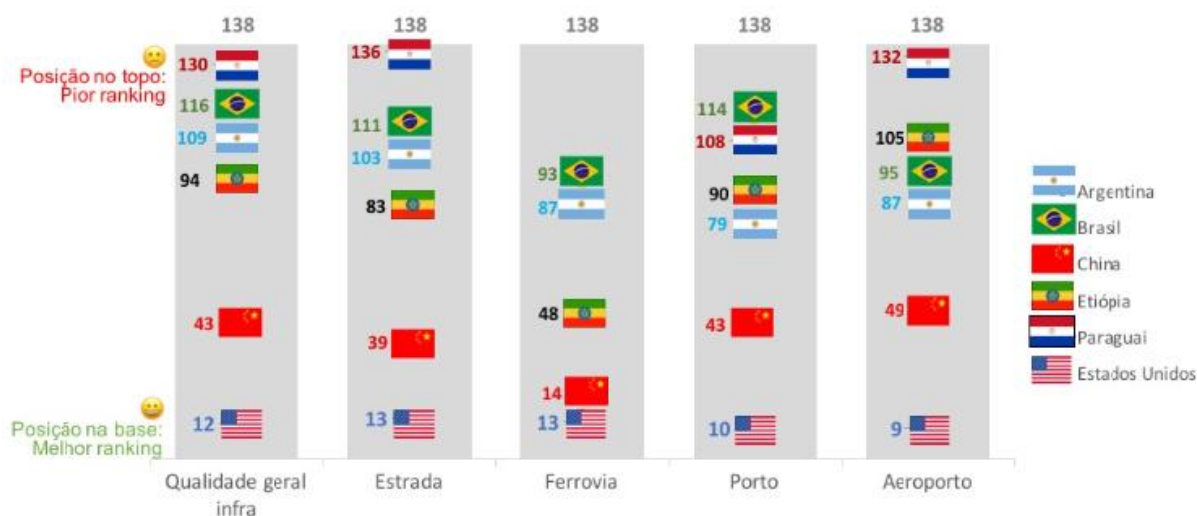
Gráfico 2 – Resultado do Brasil em Infraestrutura (2009-2016)

Fonte: IMD (2017).

Com a restauração do fluxo de investimentos federais, destinados ao transporte rodoviário e que visam à ampliação, modernização e conservação das rodovias, diversas obras em todas as unidades da federação foram retomadas a partir de 2003.

Esta carteira é composta por obras de duplicação e adequação, abrangendo 3.337 km, além de pavimentação e construção de rodovias, que somam 5.328 km, beneficiando as cinco regiões do País. Dando continuidade à manutenção das rodovias federais, a cobertura contratada para estes serviços ultrapassa os 48 mil km. Os serviços de manutenção rodoviária visam dar boas condições de trafegabilidade, proporcionar segurança aos usuários, além de reduzir o custo de transporte. Desta extensão contratada, 18,7 mil km são contratos².

² Relatório disponibilizado pelo Programa de Aceleração do Crescimento - PAC

Gráfico 3 – Ranking de Competitividade Global: Brasil em Infraestrutura

Fonte: PAC (2017).

3.7 DESENVOLVIMENTO RODOVIÁRIO ECONÔMICO NO BRASIL

O estado geral das rodovias brasileiras piorou em 2017 e a classificação de regular, ruim ou péssima chega perto de dois terços do total analisado pela Confederação Nacional dos Transportes (CNT) na "Pesquisa CNT de Rodovias 2017".

"A queda na qualidade das rodovias brasileiras tem relação direta com um histórico de baixos investimentos em infraestrutura rodoviária e com a crise econômica dos últimos anos" (CNT, 2017), disse o presidente da CNT, Clésio Andrade. Dados compilados pela entidade apontam que, em 2016, os investimentos públicos em rodovias foram de R\$ 8,61 bilhões.

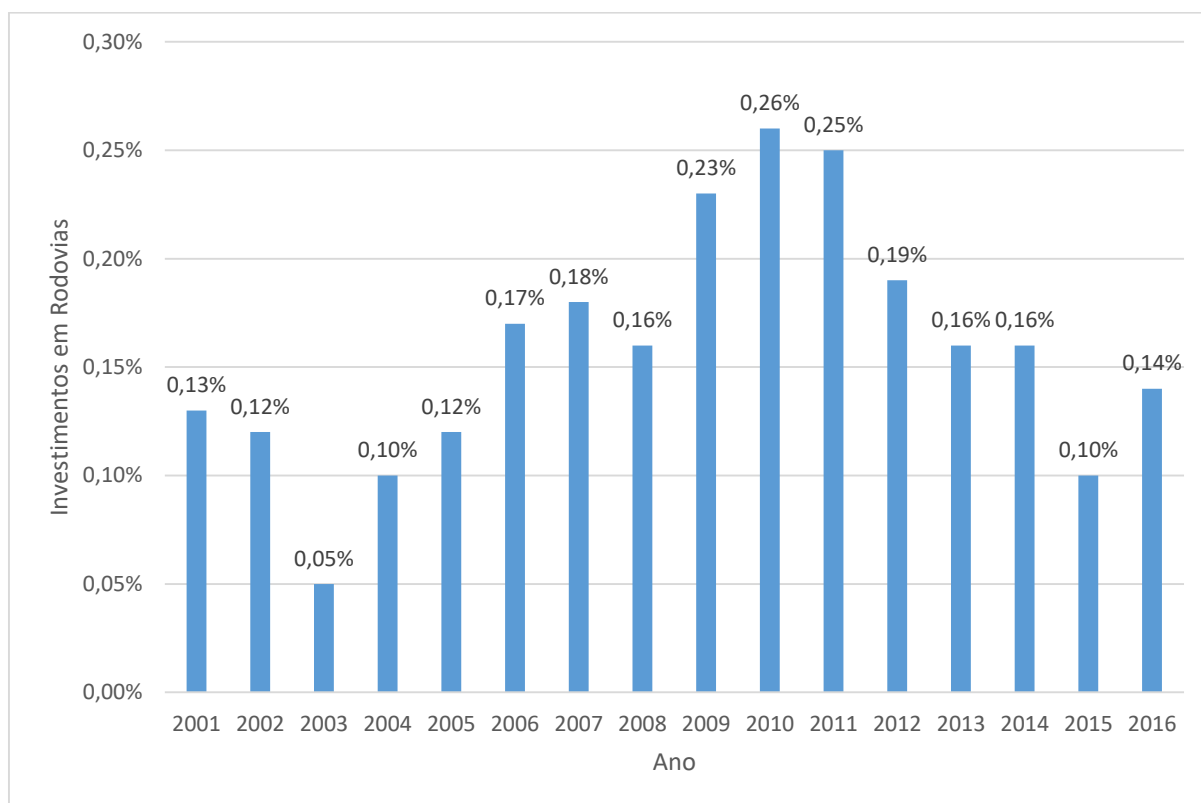
Na separação por região, o Norte tem o pior resultado, com 81,1% de resultados regulares, ruins ou péssimos. Em seguida vem o Centro-Oeste, com 65,4%, e Sul (61,7%). Completam a lista o Nordeste, que apresentou 61,5% de suas rodovias como regulares, ruins ou péssimas, e o Sudeste (51,5%). O Brasil tem apenas 12,3% da sua malha rodoviária pavimentada.

A necessidade de retomada econômica do Brasil nos próximos anos ampliará as demandas por uma maior eficiência na infraestrutura de transporte e, principalmente, reforçará a percepção da necessidade de o País dispor de rodovias com maior nível de qualidade. Nesse contexto, assegurar a recuperação e a expansão da nossa malha rodoviária mostra-se imprescindível para permitir um crescimento social e econômico com bases permanentes. Depois de atravessar a pior recessão de

sua história, o Brasil precisa consolidar o processo de recuperação econômica registrado no segundo semestre de 2017, como poder ser observado no gráfico 4. A expansão dos investimentos em infraestrutura é o caminho mais rápido e seguro para alcançarmos um novo ciclo de desenvolvimento sustentável, com geração de empregos e distribuição de renda para todos os brasileiros. A superação das barreiras impostas pelas deficiências de infraestrutura de transporte e logística pressupõe a recuperação e a ampliação da malha rodoviária do país, por onde transitam a maioria das pessoas e grande parte da produção nacional (CNT, 2017)³.

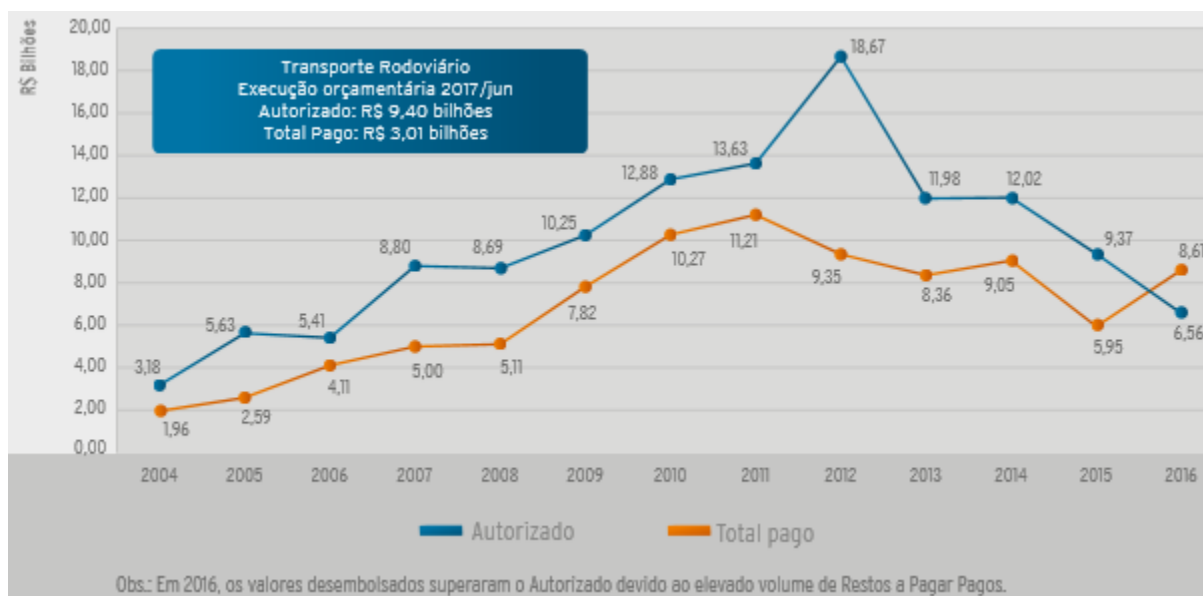
Pode ser observado, nos gráficos 4 e 5, que o resultado atual das rodovias é por falta de investimentos.

Gráfico 4 – Investimento em Rodovias, Brasil - 2001 a 2016 (%)



Fonte: Adaptado de CNT (2016).

³ Clésio Andrade, Presidente da CNT.

Gráfico 5 – Investimentos Públicos em Infraestrutura de Transporte Rodoviário

Fonte: CNT (2016).

3.8 DESENVOLVIMENTO AMBIENTAL NO BRASIL

O desenvolvimento sustentável é um conceito elaborado para fazer referência ao meio ambiente e à conservação dos recursos naturais. Entende-se por desenvolvimento sustentável a capacidade de utilizar os recursos e os bens da natureza sem comprometer a disponibilidade desses elementos para as gerações futuras (PENA, 2017).

Isso significa adotar um padrão de consumo e de aproveitamento das matérias-primas extraídas da natureza de modo a não afetar o futuro da humanidade, aliando desenvolvimento econômico com responsabilidade ambiental. É errôneo pensar que esses últimos sejam inesgotáveis, pois o seu uso indevido poderá extinguir a sua disponibilidade na natureza, com exceção dos ventos e da luz solar, que não são diretamente afetados pelas práticas de exploração econômica. O conceito de desenvolvimento sustentável foi oficialmente declarado na Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano, realizada em 1972, na cidade de Estocolmo, Suécia, e, por isso, também chamada de Conferência de Estocolmo. A importância da elaboração do conceito, nessa época, foi a de unir as noções de crescimento e desenvolvimento econômico com a preservação da natureza, questões que, até então, eram vistas de forma separada. Dentre as medidas que podem ser adotadas tanto pelos governos quanto pela sociedade civil em geral para a construção de um

mundo pautado na sustentabilidade, podemos citar:

- Redução ou eliminação do desmatamento;
- Reflorestamento de áreas naturais devastadas;
- Preservação das áreas de proteção ambiental, como reservas e unidades de conservação de matas ciliares;
- Fiscalização, por parte do governo e da população, de atos de degradação ao meio ambiente;
- Adoção da política dos 3Rs (reduzir, reutilizar e reciclar) ou dos 5Rs (repensar, recusar, reduzir, reutilizar e reciclar);
- Contenção na produção de lixo e direcioná-lo corretamente para a diminuição de seus impactos;
- Diminuição da incidência de queimadas;
- Diminuição da emissão de poluentes na atmosfera, tanto pelas chaminés das indústrias quanto pelos escapamentos de veículos e outros;
- Opção por fontes limpas de produção de energia que não gerem impactos ambientais em larga e média escala;
- Adoção de formas de conscientizar o meio político e social das medidas acima apresentadas.

Essas medidas são, portanto, formas viáveis e práticas de se construir uma sociedade sustentável que não comprometa o meio natural tanto na atualidade quanto para o futuro a médio e longo prazo (PENA, 2017).

Qual a opção que temos? Segundo alguns economistas, precisamos reduzir gradualmente a demanda por matérias primas, reutilizando e reciclando materiais e produtos. Mas isto seria apenas uma pequena providência.

4 ESTUDO DE CASO

A análise ambiental foi elaborada após longas pesquisas realizadas pontuando alguns parâmetros dos quais podem alterar o meio ambiente de uma forma positiva ou negativa influenciando direta ou indiretamente na vida da população do Rio Grande do Norte e mais precisamente na cidade do Natal/RN.

As análises econômicas foram realizadas através de dados do Sistema de Custos Referenciais de Obras (SICRO) do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) que, em sua totalidade, obtemos os custos necessários para a transição do Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) para o asfalto borracha usando como referência as características geométricas encontradas no Projeto Programa CREMA da Rodovia BR 304/RN de Trecho DIV CE/RN - 'ENTR BR-101(B) (COMPLEXO VIÁRIO DO 4º CENTENÁRIO - NATAL) *TRECHO URBANO* e Subtrecho: ENTR RN-042/263 (ANGICOS) - 'ENTR BR-226(A) do Segmento km ao km 281,00 com Extensão de 131,50 km no Lote 2, podendo então verificar a viabilidade econômica do custo de produção de massa asfáltica utilizando ainda dados da Secretaria Municipal de Obras Públicas e Infraestrutura (SEMOV) para uma avaliação em uma avenida da cidade do Natal/RN.

O projeto Contrato de Restauração e Manutenção (CREMA) foi concebido e desenvolvido a partir do exercício de 1999 dentro do Programa de Restauração e Descentralização de Rodovias Federais, constituindo-se no marco para a mudança do modelo de gestão para manutenção da malha rodoviária federal, inserido no acordo de empréstimo 4188-BR celebrado entre o governo brasileiro e o Banco Mundial. O escopo básico deste projeto é composto por licitação, mapa de localização, normatização de levantamento e avaliação, catálogo de soluções e elaboração do projeto. Os programas do tipo CREMA asseguram a manutenção das boas condições da rodovia por um prazo de dois anos (CREMA 1ª etapa) ou de cinco anos (CREMA 2ª etapa) e com as soluções objeto do programa CREMA 2ª etapa, a vida útil das rodovias chega a 10 anos.

4.1 ANÁLISE AMBIENTAL SOBRE A UTILIZAÇÃO DOS PNEUS INSERVÍVEIS EM OBRAS DE PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA

O pneu possui um papel em nossa vida e esse, por sua vez, é fundamental para o nosso transporte quanto passageiro, para a nossa economia e para a do país quando compreendemos que o modal rodoviário é o mais utilizado para o transporte de mercadorias. No entanto, quando esses se tornam inservíveis, podem causar também uma série de problemas sanitários, ambientais e visual. Algumas maneiras encontradas para corrigirem estes problemas são as aplicações elaboradas de tal maneira que ajuda e agrada a população, tais como: mobílias, em calçados, telhados, decoração, hortas (podem ser encontradas no Projeto Piloto de Compostagem e Horta Orgânica, do coordenador Prof. Dr. Werner Farkatt Tabosa, no Centro Universitário do Rio Grande do Norte) e entres diversas outras, temos ainda a que está sendo aplicada no tema deste trabalho, a borracha triturada em misturas asfálticas que além de ecologicamente correta, melhora o desempenho dos pavimentos, retarda o aparecimento de trincas e diminui os custos operacionais.

Todo pneu em algum momento se transformará em um resíduo danoso à saúde pública e ao meio ambiente. Com o intuito de minimizar esses impactos, a RECICLANIP, dentre outras empresas, tem realizado o trabalho de coletar esses inservíveis e, em Natal/RN, cerca de mais de 100 toneladas de pneus tem sido coletado das ruas anualmente. Uma forma de reaproveitamento viável e econômico será a utilização da borracha triturada como componente de asfalto, pois melhora a qualidade do pavimento e reduz os custos tornando-se, ainda, viável diante de uma análise ambiental econômica.

Com uma legislação ambiental que responsabiliza a empresa por todo ciclo de vida de seus produtos em relação ao destino após a entrega aos seus cliente e ao impacto que esses produzem no meio ambiente, o que a população ainda pode fixar é que com a reutilização desses pneus inservíveis reduz o risco de transmissão de algumas doenças através do mosquito *aedes aegypti* como dengue, chikungunya, zika que destaca-se pela sua associação com casos de microcefalia e febre amarela trazendo também benefícios para si.

É oportuno enfatizar a existência de dois conceitos apresentados por Ormond (2004), que indica os tipos de modificações no ambiente atribuídas ao homem, as quais podem ser negativas ou positivas. Sendo modificações causadoras de danos,

destruição, degradação, são denominadas de impacto ambiental negativo. Contudo, é possível também, desenvolver ações para melhorar a situação, o cenário, regenerando áreas ou funções ambientais degradadas, assim indicando impacto ambiental positivo por meio da gestão ambiental contínua.

Para Specht (2007), da UFRGS, é verdade que o asfalto borracha deve ser aquecido a temperaturas maiores; mas também é fato consumado que não faz mal à saúde dos operários nem polui mais que o asfalto convencional, desde que os cuidados tradicionais sejam tomados. "Quanto à polêmica de que o asfalto-borracha é mais poluente, nos Estados Unidos, que é o grande utilizador dessa tecnologia, essa discussão está ultrapassada desde a década de 90 e o estado da Califórnia possui a vanguarda em muitos aspectos ambientais (catalisador para automóveis, entre outros), utiliza milhões de pneus por ano em asfalto-borracha", analisa. Ainda segundo Specht (2007), todas as usinas de asfalto, via de regra, possuem filtros que evitam que a fumaça do combustível e o pó de pedra sejam lançados na atmosfera e, para funcionarem, precisam de licença ambiental (ou seja, são fiscalizadas pelo poder público).

4.2 AVALIAÇÃO ECONÔMICA DE UMA OBRA COM ASFALTO BORRACHA

Globalmente, o emprego de ligante asfáltico modificado por borracha de pneus inservíveis em misturas asfálticas para recapeamentos de pavimento apresenta uma técnica promissora, pois as misturas asfálticas com asfalto borracha apresentam valores de manutenção inferiores àqueles verificados em misturas asfálticas com ligantes convencionais (GRECA, 2015).

Por conseguinte, serão apresentadas as análises de uma obra na BR 304/RN de restauração com dados do SICRO, encontrados na tabela 1, em que o projeto especifica uma camada de concreto asfáltico com ligante CAP-50/70 com espessuras diferentes para distintos segmentos homogêneos que passaram por manutenção rodoviária. E, apresentamos ainda, o orçamento de um revestimento com asfalto borracha com redução de 30% (é possível e se justifica com base em estudos internacionais e nacionais que indicam reduções de espessura de até 50%) de espessura de reforço e será considerado uma densidade de 2,425t/m³ (dado extraído do Projeto base CREMA) para cada uma.

Tabela 1 - Dados do Projeto CREMA

DADOS	4 cm	5cm
Extensão	5,3 km	14,8 km
Largura	7 m	7 m
Densidade	2,425 t/m ³	2,425 t/m ³

Fonte: Adaptado do Projeto CREMA (2017).

Na cidade do Natal há várias usinas para produzir asfalto, então, tomamos como referência uma usina com capacidade de produção de 80 toneladas por hora e, considerando ainda que, a mesma trabalha 8 horas por dia, então obtemos um valor de 640 toneladas diária que levando em consideração 26 dias de trabalho nos dá um valor de 16.640 toneladas por mês. Com isso, observa-se que:

Utilizando os dados citados na tabela 1 relacionado ao segmento homogêneo que usa 4cm de espessura, temos 5,3km de extensão e 7m de largura, com isso, adquirimos a seguinte quantidade de massa asfáltica demonstrado na tabela 2 a seguir:

Tabela 2 - Quantidades de Massa Asfáltica (4cm)

Revestimento - CBUQ (Convencional)	Revestimento – Asfalto Borracha
5.300m x 7,0m x 0,04m x 2,425t/m ³ = 3.598,7t massa asfáltica de CBUQ	5.300m x 7,0m x 0,028m x 2,425t/m ³ = 2.519,09t massa asfáltica de Asfalto Borracha
3.598,7 toneladas	2.519,09 toneladas

Fonte: Adaptado do Projeto CREMA (2017).

Para os 4cm de espessura, após dividirmos a quantidade de massa asfáltica pela quantidade da produção mensal de uma usina, temos 0,2 meses para aplicar o CBUQ com asfalto convencional e 0,1 meses para a aplicação do asfalto borracha - com uma redução de 30% - e isso resulta em 0,1 meses de economia de custos fixos como as instalações industriais e a mão de obra necessária para a realização desta solução de revestimento de pista.

Empregando os dados citados na tabela 1 referente ao segmento homogêneo que usa a 5cm de espessura, conseguimos 14,8km de extensão e 7m de largura no qual encontramos a seguinte quantidade de massa asfáltica demonstrado na tabela 3 a seguir:

Tabela 3 - Quantidade de Massa Asfáltica (5cm)

Revestimento - CBUQ (Convencional)	Revestimento – Asfalto Borracha
14.800m x 7,0m x 0,05m x 2,425t/m³ = 12.561,5t de massa asfáltica de CBUQ	14.800m x 7,0m x 0,035m x 2,425t/m³ = 8.793,05t de massa asfáltica de Asfalto Borracha
12.561,5 toneladas	8.793,05 toneladas

Fonte: Adaptado do Projeto CREMA (2017).

E ainda, para os 5cm de espessura temos 0,7 meses para aplicar o CBUQ com asfalto convencional e 0,5 meses para a aplicação do asfalto borracha - com uma redução de 30% - e isso resulta em 0,2 meses de economia de custos fixos como as instalações industriais e a mão de obra necessária para a realização desta aplicabilidade.

De acordo com os princípios de custos adotados na tabela 4 a seguir:

Tabela 4 – Princípios Adotados

Preço do CAP 50/70 (R\$/tonelada)	Preço do Asfalto Borracha (R\$/tonelada)	Teor de Ligante (%)
1743,44	1790,25	5 CAP e 5,5 AB

Fonte: Adaptado do SICRO (2017).

O preço por tonelada que paga todos os insumos e a aplicação da massa asfáltica são os seguintes (Tabela 5):

Tabela 5 – Preço por Tonelada

CBUQ – CAP50/70 (R\$/tonelada)	85,8997
CBUQ – Asfalto Borracha (R\$/tonelada)	121,1400

Fonte: Adaptado do SICRO (2017).

De acordo com o que observamos na tabela 5 acima, o preço de execução do asfalto borracha é 30% mais caro que o preço de execução do CBUQ – CAP50/70, esse aumento equivale aos custos para elevar as temperaturas de usinagem da

mistura asfáltica e para aumentar a qualidade na compactação.

Recapitulando os dados encontrados anteriormente, vejamos as tabelas 6 e 7 a seguir, com descrição dos custos de execução dos revestimentos para cada tipo de asfalto.

Tabela 6 – Descrição dos Custos (4cm)

	DADOS	CÁLC.	UND.	ESPESSURA	CAP50/70	AB
1	Qntd. de Massa Asfáltica CBUQ (Produzida)	-	ton	4cm	3.598,70	2.519,09
2	Custo de Usinagem/Aplicação por tonelada de CBUQ aplicado	-	R\$/ton	4cm	85,8997	121,14
3	Quantidade de massa x Custo de Usinagem/Aplicação	1X2	R\$	4cm	309127,25	305162,56
4	Teor de Asfalto	-	%	4cm	5	5,5
5	Custo de Asfalto por tonelada	-	R\$/ton	4cm	1743,44	1.790,25
6	Custo Asfalto no CBUQ	1x4x5	R\$	4cm	313.705,88	248.039,05
7	Custo Total da Obra	3+6	R\$	4cm	622.833,13	553.201,61

Fonte: Adaptado do SICRO e do Projeto CREMA (2017).

Neste caso, para 4cm, também ocorre uma diminuição de custos quando se usa o asfalto borracha. Observe a porcentagem a seguir:

$$Rc = \frac{(622.833,13 - 553.201,61) \times 100}{622.833,13} = 11,2\%$$

Tabela 7 – Descrição dos Custos (5cm)

DADOS		CÁLC.	UND.	ESPESSURA	CAP50/70	AB
1	Qntd. de Massa Asfáltica CBUQ (Produzida)	-	ton	5cm	12.561,50	8.793,05
2	Custo de Usinagem/Aplicação por tonelada de CBUQ aplicado	-	R\$/ton	5cm	85,8997	121,14
3	Quantidade de massa x Custo de Usinagem/Aplicação	1X2	R\$	5cm	1079029,08	1065190,08
4	Teor de Asfalto	-	%	5cm	5	5,5
5	Custo de Asfalto por tonelada	-	R\$/ton	5cm	1743,44	1.790,25
6	Custo Asfalto no CBUQ	1x4x5	R\$	5cm	1.095.011,08	865.796,68
7	Custo Total da Obra	3+6	R\$	5cm	2.174.040,16	1.930.986,75

Fonte: Adaptado do SICRO e do Projeto CREMA (2017).

Logo, pode-se observar que ocorre uma diminuição de custos quando se usa o asfalto borracha. Observe a seguir uma equação realizada para determinar a porcentagem dessa redução de custos (Rc).

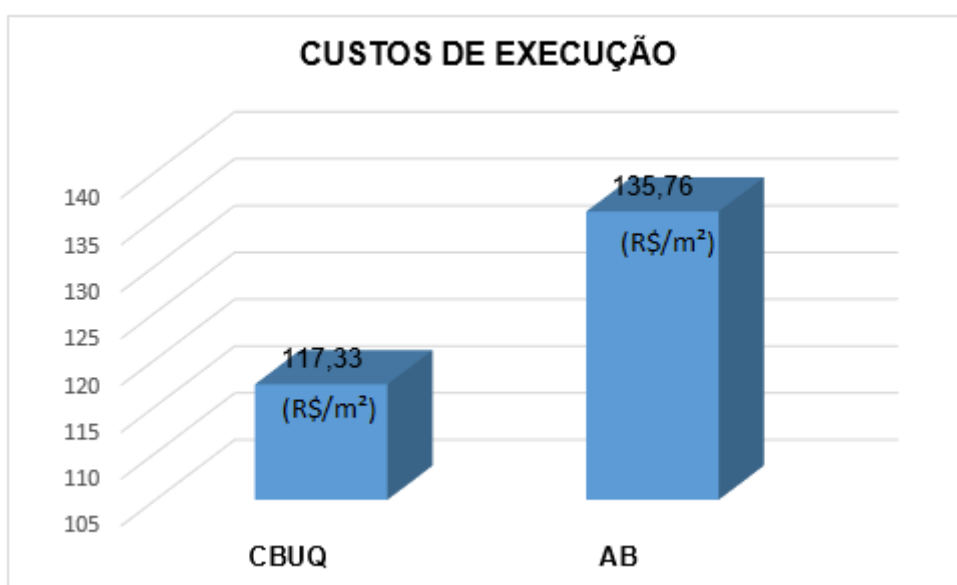
$$Rc = \frac{(2.174.040,16 - 1.930.986,75) \times 100}{2.174.040,16} = 11,2\%$$

Como podemos observar, a porcentagem de redução de custos referente ao segmento homogêneo que usa 4cm e 5cm de espessura é de 11,2%, ambas espessuras retiradas do Projeto Programa CREMA. Ou seja, pode-se economizar 11,2% do valor especificado aplicando o asfalto borracha ao invés do CBUQ convencional.

4.3 VIABILIDADE ECONÔMICA DA TRANSIÇÃO DE ASFALTO CONVENCIONAL PARA O ASFALTO BORRACHA

Com o objetivo de realizar este estudo, foi selecionada a rodovia BR-304/RN que tem como segmento a ligação da divisa CE/RN e vai até Natal/RN. Em inspeção a BR-304/RN foi escolhido o trecho da DIV CE/RN - 'ENTR BR-101(B) (COMPLEXO VIÁRIO DO 4º CENTENÁRIO - NATAL) TRECHO URBANO para os tipos de pavimento a serem analisados. O trecho de segmento homogêneo contemplado com CBUQ foi selecionado para comparar os dois métodos de pavimentação diferentes, evidenciando que os custos não seriam os mesmos e, para isso, foram avaliados os valores investidos com preparo de base e os custos de manutenção encontrados no SICRO (Gráfico 6).

Gráfico 6 – Dados e Custos de Execução dos Tipos de Pavimentos



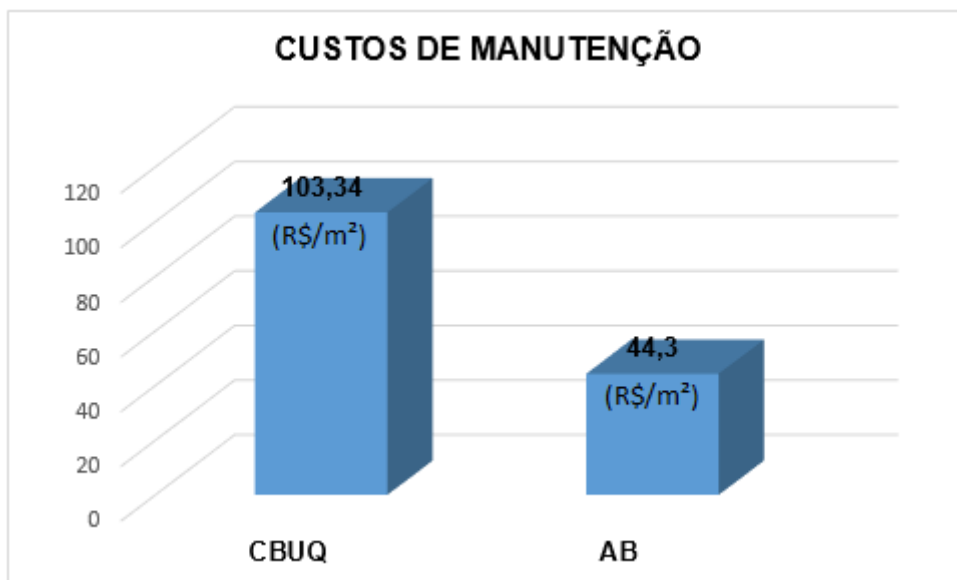
Fonte: Adaptado do SICRO (2017).

De acordo com os dados encontrados no gráfico 6, observou-se que o custo de execução do asfalto borracha é 13,6% maior do que o custo de execução do asfalto convencional.

Porém, considerando que após 5 anos ocorrerão diferentes níveis de desgastes nas vias e aplicando uma porcentagem de quantidade de manutenção em cada trecho, sendo 70% para o CBUQ e 30% para o AB, e sabendo ainda que o custo de manutenção é de R\$ 147,69/m² de acordo com dados do SICRO, então, teremos

novos custos de manutenção a serem aplicados (Gráfico 7).

Gráfico 7 – Novos Custos de Manutenção a Serem Aplicados



Fonte: Adaptado do SICRO (2017).

Verificando os valores de manutenção encontrados no gráfico 7, percebe-se que o custo de manutenção do asfalto convencional seria 57,13% mais caro do que o valor de custo de manutenção do asfalto borracha.

Para se obter um valor mais exato e completo de comparação dos pavimentos, se faz necessária a soma dos custos de manutenção e execução de cada um, assim encontrados na tabela 8 abaixo:

Tabela 8 - Valores Exatos de Comparação

PAVIMENTOS	EXECUÇÃO (R\$/m²)	MANUTENÇÃO (R\$/m²)	TOTAL (R\$/m²)
CBUQ	117,33	103,34	220,67
AB	135,76	44,3	180,06

Fonte: Adaptado do SICRO (2017).

De acordo com os dados acima, vimos que a soma dos valores da execução com a manutenção nos dá um valor mais real de uma comparação. Ainda, temos que o asfalto convencional se torna 18,4% mais caro do que o asfalto borracha devido ao fato de ocorrer um maior desgaste no CBUQ.

Resumindo os dados encontrados anteriormente, vejamos a tabela 9 a seguir, com descrição dos custos de execução somado aos de manutenção para cada tipo de asfalto.

Tabela 9 – Resumo dos Custos de Comparação dos Tipos de Asfalto

DADOS		CÁLC.	UND.	CAP50/70	AB
1	Execução do pavimento	-	m	100	100
2	Custo de Execução do Pavimento	-	R\$/m ²	117,33	135,76
3	Manutenção do pavimento para 5 anos		% m ²	70	30
4	Custo geral da manutenção do Pavimento	-	R\$/m ²	147,69	147,69
5	Percentual de custo manutenção do pavimento	3x4	R\$/m ³	103,38	44,31
6	Custo de Execução somado com o de manutenção	2+5	R\$/m ²	220,71	180,07

Fonte: Adaptado do SICRO e do Projeto CREMA (2017).

Então, com isso, pode-se observar que ocorre uma diminuição de custos quando se usa o asfalto borracha.

4.4 AVALIAÇÃO ECONÔMICA DE UMA OBRA COM ASFALTO BORRACHA NA AV. PRUDENTE DE MORAIS LOCALIZADA EM NATAL/RN

Serão apresentadas as análises de uma Avenida situada na cidade do Natal de restauração com dados da SEMOV, encontrados na tabela 10, em que o projeto especifica uma camada de concreto asfáltico com ligante CAP-50/70 com espessura de 5cm que passou por manutenção rodoviária. E, apresentamos ainda, o orçamento de um revestimento com asfalto borracha com redução de 30% de espessura de reforço e será considerado uma densidade de 2,425t/m³.

Tabela 10 – Dados do SICRO

DADOS	5cm
Extensão	347,40 m
Largura	9,0 m
Densidade	2,425 t/m ³

Fonte: Adaptado de SEMOV (2017).

Continuamos com a referência de uma usina com capacidade de produção de 80 toneladas por hora no qual obtemos um valor de 640 toneladas diária. Com isso, observa-se que:

Utilizando os dados citados na tabela 10 relacionado ao segmento homogêneo que usa 5cm de espessura, temos 347,40m de extensão e 9m de largura, com isso, adquirimos a seguinte quantidade de massa asfáltica demonstrado na tabela 11 a seguir:

Tabela 11 – Quantidade de Massa Asfáltica (5cm)

Revestimento - CBUQ (Convencional)	Revestimento – Asfalto Borracha
347,40m x 9,0m x 0,05m x 2,425t/m ³ = 379,10t de massa asfáltica de CBUQ	347,40m x 9,0m x 0,035m x 2,425t/m ³ = 265,40t de massa asfáltica de Asfalto Borracha
379,10 toneladas	265,40 toneladas

Fonte: Adaptado de SEMOV (2017).

Para os 5cm de espessura utilizado na cidade do Natal/RN temos 0,02 meses para aplicar o CBUQ com asfalto convencional e 0,01 meses para a aplicação do asfalto borracha - com uma redução de 30% - e isso resulta em 0,01 meses de economia de custos fixos como as instalações industriais e a mão de obra necessária para a realização desta aplicabilidade.

Considerando os princípios adotados na tabela 4 e os preços por tonelada na tabela 5, Recapitulamos os dados encontrados anteriormente na tabela 12 a seguir, com descrição dos custos de execução dos revestimentos para cada tipo de asfalto com 5cm de espessura.

Tabela 12 – Descrição dos Custos (5cm)

DADOS		CÁLC.	UND.	ESPESSURA	CAP50/70	AB
1	Qntd. de Massa Asfáltica CBUQ (Produzida)	-	ton	5cm	379,1	265,4
2	Custo de Usinagem/Aplicação por tonelada de CBUQ aplicado	-	R\$/ton	5cm	85,8997	121,14
3	Quantidade de massa x Custo de Usinagem/Aplicação	1X2	R\$	5cm	32564,58	32150,56
4	Teor de Asfalto	-	%	5cm	5	5,5
5	Custo de Asfalto por tonelada	-	R\$/ton	5cm	1743,44	1.790,25
6	Custo Asfalto no CBUQ	1x4x5	R\$	5cm	33.046,91	26.132,28
7	Custo Total da Obra	3+6	R\$	5cm	65.611,48	58.282,84

Fonte: Adaptado de SEMOV (2017).

Então, pode-se observar que ocorre uma diminuição de custos quando se usa o asfalto borracha. Observe a seguir uma equação realizada para determinar a porcentagem dessa Redução de Custos (Rc).

$$Rc = \frac{(65.611,48 - 58.282,84) \times 100}{65.611,48} = 11,17\%$$

Observa-se que a porcentagem de redução de custos referente ao segmento homogêneo que usa 5cm de espessura é de 11,17%, ou seja, pode-se economizar 11,17% do valor especificado aplicando o asfalto borracha ao invés do CBUQ convencional.

4.5 QUANTIFICAÇÃO DOS PNEUS NECESSÁRIOS PARA A UTILIZAÇÃO DO ASFALTO BORRACHA NA OBRA DA AV. PRUDENTE DE MORAIS LOCALIZADA EM NATAL/RN.

No Brasil, uma parte dos pneus inservíveis é reaproveitada de diversas maneiras, depois de ser moída e separada dos demais componentes do pneu, especialmente do aço. Entre os produtos que reutilizam a borracha está a mistura ao asfalto para o uso em pavimentação, gerando o asfalto borracha, que apresenta importantes vantagens. Os inservíveis coletados em Natal/RN são mais de 500 por dia e são direcionados para João Pessoa/PB onde são queimados como combustível nas indústrias de cimento.

Visando a aplicação da tecnologia do asfalto borracha em Natal/RN, se fez necessária a realização da quantificação dos pneus inservíveis coletados diariamente, mensalmente e anualmente no próprio município.

Para a realização da quantificação de pneus necessários para a utilização do asfalto borracha na obra da avenida Prudente de Moraes em Natal/RN se fez necessário a busca por quantidade de inservíveis aplicada para uma determinada distância. Na tabela 13 a seguir veremos o resultado de 3 consórcios para 1 km de distância.

Tabela 13 - Pneus Inservíveis Necessários Para Uma Extensão de 1km

DADOS	Inservíveis Utilizado
Consórcio A	750 pneus
Consórcio B	600 pneus
Consórcio C	1000 pneus

Fonte: Lacerda (2016) e Mazzonetto (2011).

Após realizar uma média ponderada dos resultados obtidos na Tabela 13, foi possível obter uma média de pneus inservíveis necessários para 1km e isso resultou em um valor de 783,33 pneus inservíveis necessários.

Para a obtenção da quantidade de massa asfáltica que pode ser produzida com o material coletado em Natal/RN, encontramos a necessidade de elaborar um cálculo com os dados da Tabela 14 abaixo.

Tabela 14 - Dados para o Cálculo de KM produzidos

Extensão	Inservíveis Necessários
1km	783,33 pneus
X	15.000 pneus

Fonte: Adaptado de SOUZA (2016).

Logo, na realização do cálculo com os dados encontrados na tabela 14, temos que X é igual a 19,15km de extensão capaz de receber a tecnologia asfalto borracha com a aplicação dos inservíveis coletados no município da cidade do Natal mensalmente. Os 15.000 é a quantidade de inservíveis coletados diariamente vezes a quantidade de dias no mês.

Ainda, quantificando a massa asfáltica necessária para a extensão encontrada anteriormente igual a 19,15km e usando como exemplo os dados citados na tabela 10, observemos os dados da Tabela 15 a seguir.

Tabela 15 - Massa Asfáltica para 19,15km de extensão

Revestimento – Asfalto Borracha
19.150m x 9,0m x 0,035m x 2,425t/m³ = 14.628,21t massa asfáltica de Asfalto Borracha
14.628,21 toneladas

Fonte: Adaptado de SOUZA (2016).

Portanto, na tabela 15 vimos que 14.628,21 toneladas de massa asfáltica são produzidas com os pneus coletados mensalmente em Natal/RN.

5 CONCLUSÕES

De acordo com o objetivo desta monografia, foram levantados subsídios teóricos e práticos sobre os impactos ambientais e a viabilidade econômica da tecnologia do asfalto borracha. A partir de conhecimentos adquiridos, foi realizado um estudo de caso visando a viabilidade econômica e ambiental para a utilização de pneus inservíveis na pavimentação asfáltica de uma rodovia e de uma avenida de Natal. Foi realizada uma comparação entre o asfalto convencional e asfalto borracha, estabelecendo os impactos ambientais e seus custos. Portanto, conclui-se que, de uma forma geral, os objetivos foram alcançados e demonstrados durante o desenvolvimento desta monografia.

Como ponto de convergência deste estudo foi a demonstração de custos através de dados de execução e manutenção dos tipos de pavimento comparados neste trabalho, apresentando constatações em melhorias econômico-financeiro quanto ao desenvolvimento e inovação de tecnologia em uma rodovia e em uma avenida de Natal no Rio Grande do Norte.

O asfalto borracha é uma solução sustentável mais segura para as ruas e rodovias brasileiras. O material que é produzido com a adição de borracha triturada extraída dos pneus inservíveis utilizados e acrescidos ao ligante asfáltico, possui inúmeras vantagens como aumentar a vida útil das rodovias. A pavimentação com asfalto borracha possui, ainda, a vantagem do ponto de vista econômico, pois por conter uma alta durabilidade, o projeto, em longo prazo, acaba por diluir o investimento inicial e isso ocorre devido a economia de investimento em manutenção desse tipo de pavimento. Ou seja, neste trabalho vimos que o asfalto convencional se torna 18,4% mais caro do que o asfalto borracha devido ao fato de ocorrer um maior desgaste no CBUQ que totaliza a uma necessidade maior de manutenções quando comparado ao asfalto borracha.

Portanto, de acordo com os resultados obtidos nesse estudo, conclui-se que a viabilidade econômica e ambiental para a utilização de pneus inservíveis na pavimentação asfáltica em uma rodovia e em uma avenida da cidade do Natal (RN) é favorável, pois é ambientalmente e economicamente viável. Além disso, é possível realizar a manutenção do pavimento utilizando os pneus inservíveis coletados no próprio município.

REFERÊNCIAS

ASFALTO quente. **Terrena**: asfaltos e pavimentação. Disponível em: <<http://terrenaasfaltos.com.br/servicos-de-pavimentacao/asfalto-quente-cbuq/>>. Acesso em: 11 nov. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10.004**: Resíduos sólidos – Classificação: Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

BALBO, José Tadeu. Pavimentação Asfáltica: materiais, projetos e restauração. Oficina de texto, 2007.

BALDO, José Tadeu. **Pavimentação asfáltica**: materiais, projeto e restauração. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

BERNUCCI, L. B. et al. **Pavimentação asfáltica**: formação básica para engenheiros. Rio de Janeiro: Abeda, 2007.

BERTOLLO, S. A. M. et al. Pavimentação asfáltica: uma alternativa para a reutilização de pneus usados. **Revista Limpeza Pública**, Associação Brasileira de Limpeza Pública. ABPL, n. 54, 2000.

Coordenação Geral de Manutenção e Restauração. **Projeto CREMA**. Natal: Consórcio de Gerenciamento do Programa Crema Contrato: Tt-268/2011-00 Edital: 223/2010-00, 2015. 304 p.

CONCER. **Obras em andamentos**. 2009. Disponível em: <www.concer.com.br/obras_andamento_asf_eco.htm>. Acesso em: 20 ago. 2015.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTES (CNT). **Pesquisa Rodoviária**. 2017.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTES (CNT). **Pesquisa CNT de rodovias 2016**: relatório gerencial. 20. ed. Brasília: CNT: SEST: SENAT, 2016. Disponível em: <[http://pesquisarodoviascms.cnt.org.br/Relatorio%20Geral/Pesquisa%20CNT%20\(2016\)%20-%20LOW.pdf](http://pesquisarodoviascms.cnt.org.br/Relatorio%20Geral/Pesquisa%20CNT%20(2016)%20-%20LOW.pdf)>. Acesso em: 13 nov. 2017.

Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 258 de 1999.

DJAILDO. **Mobilização nacional de coleta de pneus continua nos municípios do RN.** 2016. Disponível em: <<http://djaildo.com/mobilizacao-nacional-de-coleta-de-pneus-continua-nos-municipios-do-rn/>>. Acesso em: 18 set. 2017.

DNIT. **Manual de Pavimentação.** 3. ed. Rio de Janeiro, 2006.

FACCIO, C. F. **Reciclanip explica como funciona a coleta de pneus.** 01 de 07 de 2017.

FERREIRA, George Porto (Org.). **Relatório pneumáticos.** 2017. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/phocadownload/pneus/relatoriopneumaticos/ibama-relatorio-pneumaticos-2017-nov.pdf>>. Acesso em: 11 nov. 2017.

FIGUEIREDO, Matheus. Asfalto borracha pela ótica ambiental. **Vida Sustentável, 20 ago. 2013.** Disponível em: <<http://sustentareviver.blogspot.com.br/2013/08/asfalto-borracha-pela-otica-ambiental.html>>. Acesso em: 11 nov. 2017.

GOMES, J. A.; OGURA, S. K. **Levantamento bibliográfico:** tratamento e reaproveitamento de pneus usados. São Paulo: Cetesb, 1993.

GRECA ASFALTOS. **Estudo comparativo do desempenho de um recapeamento utilizando asfalto-borracha.** 2006. Disponível em: <www.grecaasfaltos.com.br>. Acesso em: 12 nov. 2017.

GRECA ASFALTOS. **Fatos Asfaltos, informativo trimestral,** ano 2, n. 5 out., 2015.

IMD. Disponível em: <www.relatorioglobalcompetitividade2016.com>. Acesso em: 12 nov. 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (IBAMA). **Relatório 2016.** São Paulo, 2017.

LACERDA, Mariana. **Pneus que viram asfalto.** 2016. Disponível em: <<https://super.abril.com.br/ideias/pneus-que-viram-asfalto/>>. Acesso em: 25 jun. 2018.

MAZZONETTO, Caroline. Asfalto-borracha. **Infraestrutura urbana:** projetos, custos e construção, dez. 2011. 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: 29 ago. 2017.

MESQUITA, Thiago. **Prefeitura recolhe e destina corretamente 1.100 toneladas diárias de lixo em Natal**. 2016. 12 f. Prefeitura do Natal, Natal, 2016. Disponível em: <<http://natal.rn.gov.br/noticia/ntc-24750.html>>. Acesso em: 13 nov. 2017.

MORILHA, Junior. **O ASFALTO-BORRACHA DA GRECA ASFALTOS**. 2016. Disponível em: <<http://www.grecaasfaltos.com.br/blog/a-historia-do-ecoflex/>>. Acesso em: 18 set. 2017.

NAKAMURA, Juliana. **Os tipos de revestimentos, o maquinário necessário e os cuidados na contratação, projeto e execução**. 2011. Disponível em: <<http://infraestruturaurbana17.pini.com.br/solucoes-tecnicas/16/pavimentacao-asfaltica-os-tipos-de-revestimentos-o-maquinario-necessario-260588-1.aspx>>. Acesso em: 29 set. 2017.

NÓBREGA, Eduardo Suassuna. **Comparação entre métodos de retroanálise em pavimentos asfálticos**. 2014. 384 f. Tese (Doutorado) – Curso de Engenharia Civil, Pós Graduação, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

ODA, Sandra; FERNANDES JÚNIOR, José Leomar. Borracha de pneus como modificador de cimentos asfálticos para uso em obras de pavimentação. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 23, n. 6, p. 1589-1599, 2001.

ORMOND, J. G. P. Glossário de termos usados em atividades agropecuárias, florestais e ciências ambientais. Rio de Janeiro: BNDES, 2004.

PENA, Rodolfo F. Alves. Desenvolvimento sustentável. **Brasil Escola**. Disponível em <<http://brasilecola.uol.com.br/geografia/desenvolvimento-sustentavel.htm>>. Acesso em: 17 nov. 2017.

PROF. CARLOS ARRUDA (Brasil). Fundação Dom Cabral. **BRASIL PRECISA CRIAR UMA AGENDA POSITIVA PARA REVERTER A TRAJETÓRIA DE QUEDA EM RANKING GLOBAL DE COMPETITIVIDADE**. 2016. Disponível em: <[http://acervo.ci.fdc.org.br/AcervoDigital/Relatórios de Pesquisa/Relatórios de Pesquisa 2017/27 05 2017 - Sumário Executivo - IMD Ranking Sem Embargo.pdf](http://acervo.ci.fdc.org.br/AcervoDigital/Relatórios%20de%20Pesquisa/Relatórios%20de%20Pesquisa%202017/27%2005%202017%20-%20Sumário%20Executivo%20-%20IMD%20Ranking%20Sem%20Embargo.pdf)>. Acesso em: 22 set. 2017.

PROGRAMA DE ACELERAÇÃO DO CRESCIMENTO (PAC). **Relatório Programa de Aceleração do Crescimento 2016**. São Paulo, 2017.

REVISTA RODOVIAS E VIAS. Tecnologia Asfalto. Edição 36. Disponível em: <http://www2.rodoviasevias.com.br/revista/materias.php?id=268&edicao=Edicao36>; acessado em 28 de maio de 2012.

Secretaria Municipal de Obras Públicas e Infraestrutura (SEMOV).

SENÇO, Wlastermiller de. **Manual de técnicas de pavimentação**, v. 1. 2. ed. São Paulo: Pini, 2001.

Sistema de Custos Referenciais de Obras (SICRO).

SPECHT, Luciano. **Vantagens ambientais e econômicas no uso de borracha em asfalto**. 2016. Disponível em: <<http://inovacao.sielo.br/pdf/inov/v3n3/a08v3n3.pdf>>. Acesso em: 22 set. 2017.

URBANA recolhe 100 mil pneus em Natal no ano 2010. **Tribuna do Norte**, 1 dez. 2011. Disponível em: <<http://www.tribunadonorte.com.br/noticia/urbana-recolhe-100-mil-pneus-em-natal-no-ano-2010/169931>> Acesso em: 11 nov. 2017.

WICKBOLDT, V. S. **Ensaaios acelerados de pavimentos para avaliação de desempenho de recapeamentos asfálticos**. 2005. 134 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.