

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 Souza¹
Raymison Rodrigues Cardoso²*

RESUMO

Estuda-se 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 uma percepção sobre a situação atual da coleta de pneus inservíveis, do asfalto borracha e do asfalto convencional e por último, a competitividade econômica, o desenvolvimento ambiental e o desenvolvimento rodoviário. Desenvolveu-se 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. A análise ambiental foi baseada na revisão de artigos científicos 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 Rua 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), para a obtenção dos 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 para minimizar os custos e os impactos ambientais, economizando em manutenção.

Palavra Chave: Asfalto Borracha. Pneus Inservíveis. Meio Ambiente. Economia.

-
- 1 Discente do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário do Rio Grande do Norte (UNIRN). E-mail: andreadresouza@gmail.com. Endereço para acessar CV: <http://lattes.cnpq.br/9261411926128280>
 - 2 Docente do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário do Rio Grande do Norte (UNIRN). E-mail: raymison.cardoso@gmail.com. Endereço para acessar CV: <http://lattes.cnpq.br/5097186954278519>.

STUDY ON ECONOMIC AND ENVIRONMENTAL VIABILITY FOR THE USE OF TIRES IN ASPHALT PAVING OF A FEDERAL HIGHWAY AND A NATAL/RN AVENUE

ABSTRACT

We study the economic and environmental feasibility for the use of unserviceable tires in the asphaltic paving of a highway and a Natal / RN avenue. In order to carry out this study, a perception was needed about the current situation of the collection of waste tires, rubber asphalt and conventional asphalt and finally, economic competitiveness, environmental development and road development. We developed a case study composed of 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 environmental analysis was based on the review of scientific 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 Rua Mossoró - Av. Alexandrino de Alencar for the types of pavement to be analyzed using the data of the System of Reference Costs of Works (SICRO) and the Draft Contract of Restoration and Maintenance (CREMA) of the National Department of Transport Infrastructure (DNIT) and (SEMOV), in order to obtain the necessary costs for the transition from Hot-Rolled Bituminous Concrete (CBUQ) to rubber asphalt. It is concluded that, although the conventional asphalt methodology is the most used in Brazil, the rubber asphalt methodology presents a better capacity to minimize costs and environmental impacts, saving on maintenance.

Keyword: Asphalt Rubber. Unbeatable Tires. Environment. Economy.

1 INTRODUÇÃO

Com o crescimento da frota de veículos no Brasil, ocorreu um grande aumento na produção de pneus que, conseqüentemente, 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 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, e, 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.

Sendo assim, esse trabalho reveste-se de grande importância, pois irá 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, e fará uma avaliação econômica de uma obra com asfalto borracha na Av. Prudente de Moraes localizada em Natal/RN.

A importância deste trabalho justifica-se ainda, por acreditar-se 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 BREVE HISTÓRICO SOBRE A COLETA DOS RESÍDUOS

Buscando desenvolver um melhor entendimento sobre a tecnologia em estudo, faz-se necessário uma breve explicação sobre a coleta de pneus em Natal/RN, asfalto borracha, asfalto convencional, desenvolvimento rodoviário econômico e desenvolvimento ambiental, com a finalidade de demonstrar a importância da aplicação da tecnologia em questão.

2.1 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 e 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).

2.2 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 JUNIOR, 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, 2017).

O material é caracterizado por mistura com liga de asfalto modificada por borracha triturada de pneus e compactado a quente, procedimento utilizado para aumentar a ligação entre as partículas para a produção em escala comercial.

2.3 ASFALTO CONVENCIONAL

Os Pavimentos flexíveis configuram-se como 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, em função da característica viscosidade-temperatura do ligante (BALDO, 2007).

2.4 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”, 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. 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.

2.5 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, 2016).

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.

3 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 econômica e ambientalmente sustentável de acordo com as condições desta cidade.

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, conterá 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 os 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 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 e, por fim, realizaremos uma análise com dados ambientais na qual disponibilizará resultados sobre a viabilidade ambiental desta transição.

Esta metodologia está fundamentada em referências bibliográficas, e em pesquisa de campo junto a empresas que já utilizaram esta alternativa.

4 RESULTADOS E DISCURSÕES

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

O pneu possui um papel em nossa vida, sendo fundamental para o transporte de passageiros, influenciando a economia, sendo o modal rodoviário o mais utilizado para o transporte de mercadorias. No entanto, quando esses se tornam inservíveis, podem causar uma série de problemas sanitários, ambientais e visual. Algumas maneiras encontradas para corrigir estes problemas são as aplicações elaboradas de tal maneira que ajuda e agrada a população, tais como: mobílias, em calçados, telhados, decoração, hortas e entres diversas outras. A borracha triturada em misturas asfálticas 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)/ 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 esse autor, 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 funcionar, 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 recapamentos 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 $2,425\text{t/m}^3$ (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	$2,425\text{ t/m}^3$	$2,425\text{ t/m}^3$

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 obtivemos 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
$5.300\text{m} \times 7,0\text{m} \times 0,04\text{m} \times 2,425\text{t/m}^3 = 3.598,7\text{t}$ massa asfáltica de CBUQ	$5.300\text{m} \times 7,0\text{m} \times 0,028\text{m} \times 2,425\text{t/m}^3 = 2.519,09\text{t}$ massa asfáltica de Asfalto Borracha
3.598,7 toneladas	2.519,09 toneladas

Fonte: Adaptado do Projeto CREMA (2017).

Para os 4 cm 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 5 cm 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 (5 cm)

Revestimento - CBUQ (Convencional)	Revestimento - Asfalto Borracha
14.800m x 7,0m x 0,05m x 2,425t/m ³ = 12.561,5t de massa asfáltica de CBUQ	14.800m x 7,0m x 0,035m x 2,425t/m ³ = 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 5 cm 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 (4 cm)

	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).

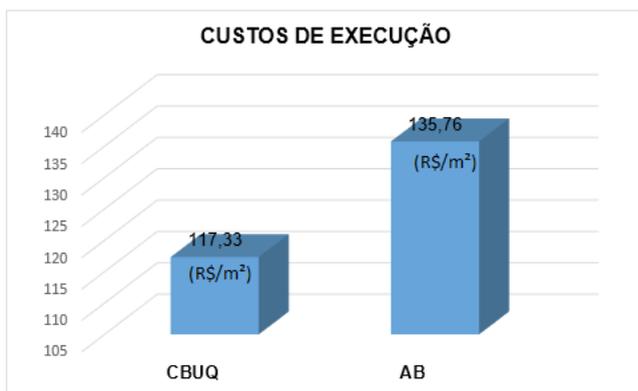
$$Rc = \frac{(2.174.040,16 - 1.930.986,75) \times 100}{2.174.040,16} = 11,2\%$$

Como podemos observar, a porcentagem de redução de custos referente ao segmento homogêneo que usa 4 cm e 5 cm 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 1).

Gráfico 1 - Dados e Custos de Execução dos Tipos de Pavimentos



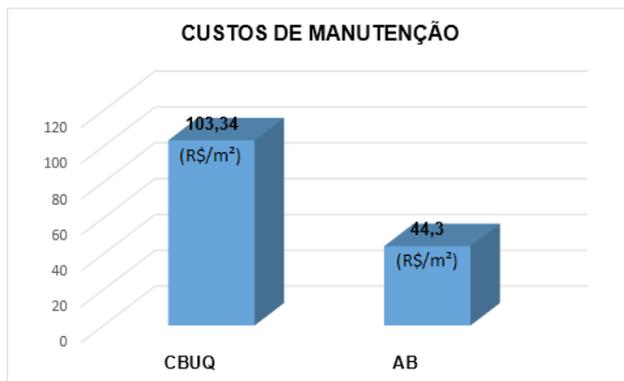
Fonte: Adaptado do SICRO (2017).

De acordo com os dados encontrados no gráfico 1, 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 2).

Gráfico 2 – Novos Custos de Manutenção a Serem Aplicados



Fonte: Adaptado do SICRO (2017).

Verificando os valores de manutenção encontrados no gráfico 2, 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\$/m ²)	MANUTENÇÃO (R\$/m ²)	TOTAL (R\$/m ²)
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 5 cm 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
$347,40m \times 9,0m \times 0,05m \times 2,425t/m^3 =$ 379,10t de massa asfáltica de CBUQ	$347,40m \times 9,0m \times 0,035m \times 2,425t/m^3 =$ 265,40t de massa asfáltica de Asfalto Borracha
379,10 toneladas	265,40 toneladas

Fonte: Adaptado de SEMOV (2017).

Para os 5 cm 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).

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

Observa-se que a porcentagem de redução de custos referente ao segmento homogêneo que usa 5 cm 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 1 km 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
$19.150\text{m} \times 9,0\text{m} \times 0,035\text{m} \times 2,425\text{t}/\text{m}^3 = 14.628,21\text{t}$ 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 do estudo, 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 do trabalho.

Como ponto de convergência deste estudo aponta-se 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 inseríveis na pavimentação asfáltica em uma rodovia e em uma avenida da cidade do Natal (RN) é favorável, pois é ambientalmente e economicamente viável.

REFERÊNCIAS

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.

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.

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

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: 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. Cap. 1. 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.

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](http://brasilecola.uol.com.br/geografia/desenvolvimento-sustentavel.htm)>. Acesso em: 17 nov. 2017.

SECRETARIA MUNICIPAL DE OBRAS PÚBLICAS E INFRAESTRUTURA (SEMOV). Natal/RN.

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.

SISTEMA DE CUSTOS REFERENCIAIS DE OBRAS (SICRO).

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