

A UTILIZAÇÃO DE ASFALTO-BORRACHA NA CONSTRUÇÃO DE ESTRADAS: Viabilidade Técnica e Sustentabilidade¹

THE USE OF RUBBER ASPHALT IN ROAD CONSTRUCTION: Technical Feasibility and Sustainability¹

José Rosemberg da Silva Jerônimo Leite²

Italo Alves de Lima³

Marcos Roberto Magela Dini⁴

RESUMO

De acordo com o ex-presidente Washington Luis (1920), “Governar é Povoar”. A política de expansão da malha rodoviária, mais conhecida como rodoviarismo, o teve como precursor. Entretanto, foi por volta de 1950, com o ex-presidente Juscelino Kubitschek, que esse movimento expandiu de forma abrupta, caracterizando no Brasil, o modal rodoviário como predominante até os dias atuais.

Com isso, diversas problemáticas surgiram ao longo dos anos, principalmente de cunho sustentável. Afim de solucioná-las, o incentivo ao estudo de tecnologias alternativas nos quais visam a diminuição dos impactos de determinados processos e materiais ao meio ambiente, tornaram-se indispensáveis e crescentes.

A aplicação do asfalto-borracha, em substituição ao CAP convencional, tem se demonstrado extremamente promissor. No âmbito da utilização de materiais derivados do petróleo, a reutilização de pneus inservíveis, vem melhorando o desempenho, aumentando a rigidez a elevadas temperaturas, reduzindo as deformações permanentes, aumentando a flexibilidade e retardando o aparecimento de trincas.

Através dessa revisão bibliográfica, abordaremos essa que é uma tecnologia assertiva em diversos fatores, provando que apesar do custo levemente maior, segundo o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT, os bônus superam os ônus.

Palavras-chave: Asfalto-borracha; Cimento-asfáltico; adição de borracha; Meio ambiente; Benefícios do asfalto-borracha.

ABSTRACT

According to former president Washington Luis (1920), “Governing is People”. The policy of expanding the road network, better known as highways, had him as a precursor. However, it was around 1950, with the ex-president Juscelino Kubitschek, that this movement expanded abruptly, characterizing in Brazil, the road modal as predominant until the present day.

As a result, several problems have arisen over the years, mainly of a sustainable nature. In order to solve them, the incentive to study alternative technologies in which they aim to reduce the impacts of certain processes and materials on the environment, have become indispensable and growing.

The application of asphalt-rubber, replacing conventional CAP, has shown to be extremely promising. In the context of the use of materials derived from petroleum, the reuse of waste tires has been improving performance, increasing stiffness at high

temperatures, reducing permanent deformation, increasing flexibility and delaying the appearance of cracks.

Through this literature review, we will approach this technology that is assertive in several factors, proving that despite the slightly higher cost, according to the National Department of Transport Infrastructure - DNIT, the bonuses outweigh the burdens.

Key-words: Asphalt rubber; Cement-asphaltic; rubber additives; Environment; Benefits of asphalt-rubber.

1 Artigo apresentado para a banca de Projeto final de curso em engenharia, como parte dos requisitos para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

2 Graduando em Engenharia Civil pela Universidade Potiguar – rosemborg_leite@yahoo.com.br

3 Graduando em Engenharia Civil pela Universidade Potiguar – italoalvesdelima@hotmail.com

4 Professor Orientador. Engenheiro Civil pela UFRN, especialista em Instalações Prediais pela Universidade Potiguar, Especialista em Engenharia Sanitária e Ambiental pela UFRN, Mestre em Engenharia de Processos pela Universidade Potiguar – marcos.dini@unp.br

1 INTRODUÇÃO

Ao analisar o processo evolutivo das tecnologias do ramo da construção civil, é perceptível o atraso no desenvolvimento e aplicação de novos produtos e processos. Quando comparamos a outros segmentos, por exemplo, o de telecomunicações, a discrepância é exuberante, entretanto estamos vivenciando uma leve mudança no comportamento dos novos pesquisadores, onde o pensamento está voltado a viabilidade técnica e sustentável dos recentes instrumentos da ciência.

O avanço traz consigo na maioria das vezes, soluções para problemáticas que outrora não existiam. A saber, a crescente produção de novos veículos, acarreta também no aumento do número de novos pneus postos em mercado. Isso acaba gerando um ciclo muito perigoso, tendo em vista que a falta de infraestrutura para o descarte correto desses resíduos derivados do petróleo, geram diversos problemas ao meio ambiente.

Segundo Leomar (2020), acreditasse que nos Estados Unidos existe uma média anual de um pneu descartado por pessoa, já na Europeia, aproximadamente 0,6, no Brasil, o valor é o menor entre os três. Outro dado alarmante é a produção anual de pneus, onde segundo a Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos - ANIP, em 2020 foram fabricados cerca de 52 milhões de unidades e em 2021, aproximadamente 57 milhões.

Visando uma forma de amenizar os impactos ambientais, causados pelo método tradicional de pavimentação flexível, em 1997, através da pesquisa de Sandra Aparecida Margarido Bertollo, foi realizado a primeira execução do asfalto-borracha no Brasil. Os resultados foram surpreendentes, desde então os estudos sobre essa tecnologia vêm sendo aprimorados em diversos lugares no mundo.

A saber, a definição dada por Bernucci (2007), de fato aplica-se ao asfalto-ecológico, seguindo as mesmas primícias para o dimensionamento, a alteração está diretamente ligada a camada final, ou a camada de rolamento. A realização dos comparativos de suas propriedades com os métodos tradicionais, expressaram uma viabilidade de utilização em massa, necessitando ser subsidiada por políticas públicas de conscientização em todas as esferas do poder.

Por fim, a busca por métodos alternativos tem tido excelentes resultados. Realizaremos uma análise dos métodos, focando em suas propriedades físicas e na viabilidade econômica, além disso abordaremos o cenário brasileiro e mundial, sempre visando como objeto principal, os resultados positivos ao meio ambiente.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Pneus inservíveis e o meio-ambiente

Segundo Branco (2002), falando de agressão ao meio-ambiente, as empresas são as principais responsáveis pelos impactos causados. Alguns pontos desprezados, deveriam ser os mais importantes na hora de viabilizar a implantação de alguma empresa, por exemplo: O meio será capaz de suportar as alterações requeridas, quais serão as problemáticas criadas com a implantação e quais serão as ações em contrapartida.

A saber, o quantitativo estimado de veículos em circulação no ano de 2000, era de cerca de 35.700.000,00, 10,6% maior que o ano de 1998, de acordo com Russo (2010). Com isso, a geração e gestão dos resíduos sempre foram os pontos preocupantes para as empresas que visam certificações no âmbito sustentável (Melnyk, 2003). O segmento automobilístico é um dos maiores agressores do meio-ambiente.

Figura 1 - Depósito de pneus na cidade de Sesena-Espanha



Fonte: Agence France-Presse em www.afp.com

A melhoria da qualidade de vida e a diminuição dos impactos ambientais serão notórios quando as empresas passarem a usar o asfalto-borracha em larga escala na construção de estradas, segundo Beduschi (2014). Os benefícios são imensuráveis, tendo em vista que a preservação da vida é o principal.

Podemos citar outros exemplos, como a criação de novos postos de trabalho, tendo em vista a necessidade de empresas direcionadas a reutilização de pneus, além da diminuição no uso da matéria prima (Petróleo), devido a incorporação do material reciclado, segundo Marchesi (2010).

Como todo agente nocivo ao meio-ambiente, o pneu inservível descartado de forma inapropriada, pode acarretar em diversos problemas sérios, por exemplo: Poluição de rios, proliferação de doenças, diminuição da biodiversidade e possíveis queimadas (CANEPA, 2004).

Até aqui, os benefícios citados na reutilização desses elementos, tem caráter sustentável. A saber, segundo a ABTC (2006), existe a proporção de 500 a 1000

pneus por quilometro linear de estrada, isso é um número extremamente positivo, tendo em vista, a predominância do modal rodoviário no Brasil.

2.1.1 Local de descarte

Tendo em vista a composição e estrutura dos pneus, a dificuldade em descartá-los em local apropriado após o seu fim de vida torna-se ainda maior, os aterros sanitários tendem a não receber esses resíduos devido a sua característica de compressibilidade ser reduzida, além da absorção de gases emitidos pela decomposição de outros elementos, podendo ocasionar explosões.

Figura 2 - Crime ambiental de queima de pneus no bairro Boa Vista, em Luís Eduardo Magalhães.



Fonte: Prefeitura de Luís Eduardo Magalhães, 2021.

Com a evolução do tempo, as cidades enfrentam mais e mais dificuldades para promoverem o descarte correto dos resíduos gerados pela população. A deficiência no número de aterros é gigantesca, onde os poucos existentes trabalham com capacidade operante quase no limite. Com base nisso, os pneus têm agravado ainda mais esse cenário, tendo em vista suas características.

Dois fatores importantíssimos tendem a ser desprezados quando se fala da reutilização de pneus inservíveis, o primeiro é a falta de políticas públicas e o segundo é o desinteresse quanto ao acompanhamento/monitoramento do descarte desses resíduos (Lacerda, 2003). Quando tratamos da visão macro deste tema, a nível internacional, observamos que ainda tem muito a ser feito, entretanto devemos esperar melhorias significativas a curto prazo, devido sinais apresentados por alguns órgãos e pesquisadores.

2.1.2 Pneus inservíveis e o ciclo reverso

No ano de 1999, o Conama apresentou o primeiro regulamento para a disposição final dos pneus inservíveis, com procedimentos assertivos ele veio apresentar um método reverso para essa problemática. O setor empresarial que trata da logística reversa, tem por objetivo tornar reutilizável os elementos após o seu fim de vida, de forma manufaturada.

Ainda de acordo com o Conama (2009), esse ciclo reverso é extremamente importante para a manutenção do meio ambiente. Entretanto as dificuldades em pô-lo em prática, tem causado lentidão na efetivação do regulamento de 99. A luta tem sido constante, na intenção de unir as indústrias de pneumáticos, prefeituras e ONGs protetoras da natureza. Porém as ações não ficam privadas apenas a essas instituições, tendo em vista que a população é quem mais utiliza e sofre os impactos do descarte irregular.

Figura 3 – Processo de reciclagem do pneu inservível.



Fonte: Cempre, 2020.

Depois de realizar o descarte correto do pneu em locais apropriados, o elemento é posto em um processo de seleção, no qual são classificados entre reutilizáveis e não reutilizados (Lagarinhos, 2011). Após isso, o processo do ciclo reverso é iniciado para os pneus considerados como não reutilizáveis, onde dar-se pela separação da borracha, aço e fibras.

Segundo Spínola (2001), os pneus classificados como utilizáveis serão postos em comercio e vendidos como seminovos, podendo ser remoldados. Com essas ações, os pontos positivos ao meio ambiente são expressivos.

2.2 Fabricação do asfalto-borracha

Com o auxílio de equipamentos, o processo de transformação do pneu em pó de borracha, é totalmente automatizado e controlado. Através de um circuito fechado, os resíduos passam pela moagem, em seguida peneiramento, no qual é importante para garantir a granulometria, em sequência ocorre a transformação físico-química, retornando as características da borracha original em até 65% (Specht, 2004).

Ainda segundo Specht (2004), o pneu é composto de borracha natural, sintética e negro de fumo. A saber, a transformação de pneus inservíveis em pó de borracha, possui algumas variáveis que podem facilitar a mistura com o ligante asfalto, ou seja, quanto menor o tamanho das partículas, mais fácil a sua incorporação.

O controle tecnológico do processo de fabricação do pó de borracha, tem consequências no resultado final do produto, no qual pode impactar de forma positiva

ou negativa nas características do CAP-Borracha. A saber, o processo de trituração é dividido em dois tipos:

- Moagem Mecanizada: É o processo de corte da borracha na temperatura ambiente. Se utilizado os granuladores, as partículas obtidas nesse processo estão dentro do intervalo de 2,00 e 9,50mm. Se utilizado os moinhos, as partículas obtidas nesse processo estão dentro do intervalo de 0,425 e 4,750mm.
- Moagem Criogênica: É o processo de submersão da borracha em nitrogênio líquido, onde as temperaturas variam entre -87° a 198°C. Aos 62°C, o pó de borracha entra em um estado quebradiço, no qual ajuda a garantir as dimensões desejadas. As partículas obtidas através desse método, estão entre 0,60 e 6,35mm.

De acordo com Oda (2000), os métodos mais utilizados na mistura do pó de borracha ao ligante asfáltico, são divididos em dois tipos:

- Processo seco: Neste método, é realizada a introdução da borracha no misturador, funcionando como um agregado no CAP. Nesse processo, temos um pior resultado na aquisição das propriedades.
- Processo úmido: Neste método, é realizada uma mistura prévia com o ligante, variando entre 5% e 25% do peso total do CAP. Nesse processo, temos um melhor resultado na aquisição das propriedades.

De acordo com Santos (2008), o processo úmido é preferido na execução dos pavimentos com asfalto-borracha, isso se dá devido os testes realizado nos Estados Unidos terem resultados positivos. Já os trechos executados com o processo seco, decorreu em problemáticas.

Figura 4 – Processo de moagem/trituração do pneu inservível.

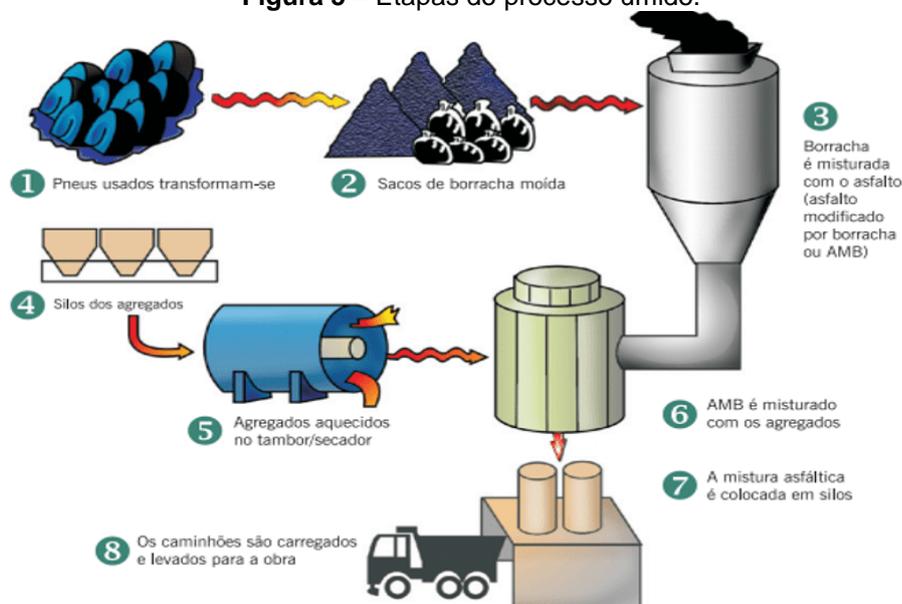


Fonte: UTEP, 2022.

Segundo Pivoto (2007), em síntese, o processo úmido dividisse em não estocável e estocável, onde no primeiro a mistura é feita “in loco” e possui um controle tecnológico menor, dimensões das partículas de borracha maiores, devendo ser realizada a execução instantânea. Já com o segundo, as dimensões das partículas deverão ser pequeníssimas, possuir um controle tecnológico maior, devendo ser feito em altas temperaturas. A saber, a adição do pó de borracha não deverá ser inferior a

15% do volume total, de acordo com as diretrizes do DER-PR. Como também, a exigência do cumprimento de todos os testes e ensaios.

Figura 5 – Etapas do processo úmido.



Fonte: Marques (BERNUCCI et al., 2008).

Após o tempo de reação, o armazenamento se dá através de outro silo, onde ocorre uma movimentação mecanizada, mantendo a mistura homogênea evitando a dispersão. Porém, também é utilizado o óleo de expansão, afim de diminuir a viscosidade. Vale salientar a constante verificação da temperatura, afim de evitar possíveis patologias (Neves, 2004).

Por fim, a visão sustentável foi ultrapassada pelos diversos benefícios obtidos da tecnologia. Diversos países a adotaram como forma de alcançar pavimentos mais duradouros. A saber, no Arizona, 80% das principais vias possuem sua capa de rolamento em asfalto-ecológico (Pivoto, 2007).

2.3 Origens da tecnologia

Segundo Martins (2004), a origem se dá na França, no ano de 1901, e teve o primeiro teste realizado na cidade de Cannes, em 1902. Uma característica gerada pela disponibilidade de borracha natural, nos anos que antecederam a Segunda Guerra Mundial, foi a sua aplicação na construção dos pavimentos, visando desde então melhorar as propriedades do elemento e reduzir o aparecimento de fissuras e trincas, na tentativa de aumentar a longevidade e reduzir a sua deformabilidade.

De acordo com Di Giulio (2007), a U.S. Rubber Reclaiming Company, por volta do ano de 1940, foi dada o pontapé inicial na confecção do asfalto-ecológico derivado da borracha de pneus inservíveis, no qual expuseram em larga escala, um material inovador para todo o mundo. Já em 1963, o pesquisador Charles H. McDonald com o objetivo de melhorar a propriedade elástica do asfalto convencional, deu continuidade ao estudo de incorporação de borracha triturada no ligante asfáltico.

A composição final do estudo desenvolvido por ele, foi de 25% de borracha triturada, aglutinada ao ligante asfáltico a 190° C, com um tempo de 20 minutos. O nome dado a esse elemento foi "Band-aid", e foi mais utilizado como remendos e

selante de trincas. Porém após 6 anos, os testes realizados por McDonald, foram surpreendentes, pois não apresentavam indícios de fissuração.

De acordo com Lacerda (2003), nos estados unidos, a obrigatoriedade do departamento de transportes e de proteção ambiental em desenvolver técnicas para a utilização dos pneus inservíveis na construção de estradas, se deu pela Lei criada em 1991, que trata da eficiência do transporte intermodal de superfície.

Segundo Beduschi (2014), em território nacional, os primeiros relatos de estudos dessa nova tecnologia, foram na década de 90. Um dos pioneiros foi o centro de pesquisas da Petrobrás, seguido por algumas universidades e empresas privadas da região sul do país.

Atualmente, é notório que através das políticas públicas, a exemplo da “Lei 18.145/2021, no qual trata da preferência do uso de asfalto-borracha nas obras de pavimentação ou na conservação das estradas do Estado e vias municipais”, essa nova tecnologia está começando a ser executado em larga escala, principalmente na região sul, sudeste e centro-oeste. A exemplo de vias já executada, temos:

- Trecho da BR 116 (RS);
- Sistema Anchieta-imigrantes (SP);
- Avenida Atlântica, em Copacabana (RJ);
- Vias Internas da Usina Itaipu (PR);
- Oriximiná no Pará;
- Acesso a Timbó Grande (SC);
- Linha verde em Belo Horizonte (MG);
- Aterro do Flamengo (RJ);
- Rodovia Anhanguera Bandeirantes (SP);
- Automobilismo em Ribeirão Preto (SP);
- Kartodromo de Registro (SP);
- Avenida Beira Mar Norte, em Florianópolis (SC);
- Rodovia BR-050 (MG e GO);
- Rodovia SC-480;
- BR-470 Vale do Itajaí;
- Rodovia SC-423, próxima a Taió – Rio do Campo;
- Rodovia SC-478, próxima a Timbó Grande.

2.4 Viabilidade Técnica

Uma das análises a serem feitas no desenvolvimento de novas tecnologias, são os efeitos negativos, ou as desvantagens de sua utilização. Apesar dos benefícios causados pela mistura dos resíduos de pneus inservíveis processados ao ligante asfáltico, no qual se tornaram notórios pelo cunho sustentável, técnico e econômico. Ainda assim, algumas problemáticas se destacam.

2.4.1 Vantagens

De acordo com os resultados do monitoramento de simuladores de tráfego implantados em estradas e rodovias, onde possuem a sua execução em asfalto-borracha, ocorreu que a durabilidade foi dobrada. Além disso, os resultados obtidos por Faxina (2002), foram surpreendentes, tendo em vista a regressão no tamanho das fissuras, que chegaram a apenas $\frac{1}{4}$ do tamanho se comparado aos pavimentos convencionais.

Figura 6 – Simulador de Trafego.



Fonte: UFRGS (2007).

Com a realização dos testes, o pavimento a esquerda, no qual foi aplicado o Asfalto-Borracha, após 150.356 ciclos, apresentou apenas uma fissura. Já o da direita, aplicado o Asfalto CBUQ (Concreto Betuminoso Usinado à Quente), depois de 95.678 ciclos, apresentou inúmeras fissuras (Pivoto, 2007). Segundo Neves (2004), através do simulador LCPC, foram verificadas que as modificações permanentes no asfalto-ecológico, foram inferiores em relação ao convencional.

Figura 7 – Placas de pavimentos asfálticos.



Fonte: USP (2004).

Ainda segundo ele (Neves, 2004), a deformabilidade encontrada no asfalto-ecológico, após 50.000 ciclos, foi na ordem de 6%, enquanto no convencional, com apenas 20.000 ciclos chegou a 14%. Foi notória a gritante diferença entre os métodos,

percebendo-se que o asfalto-borracha praticamente não sofreu deformações significativas.

Uma outra vantagem percebida de forma abrupta, foi a redução dos ruídos causados pelo tráfego de veículos. Esse feito se deu principalmente pela seleção correta dos agregados utilizado na mistura (Leite, 2004). Destaca-se também, a longevidade prevista e a flexibilidade na aplicação. Além das vantagens anteriormente mencionadas, outras duas demonstraram excelentes resultados, que são: A melhoria na aderência dos veículos a pista e uma maior permeabilidade.

Não poderíamos deixar de lado, uma das principais vantagens que é a remoção de pneus que outrora contribuiriam para a destruição do meio ambiente e agora passam a ser aplicados na construção daquilo que contribuiu para o seu próprio desgaste. Estimasse que cerca de 500 a 1000 pneus são utilizados por quilometro linear de estrada, pavimentada com o asfalto-ecológico.

Para que essa nova tecnologia, com potencial altíssimo, tenha expansão em sua aplicação, será necessário a criação de leis, regulamentos, normativos que obriguem a sua utilização e que punam seu descumprimento, tendo em vista que a tendência natural da humanidade infelizmente é destruir e não preservar (Santos, 2008).

Em síntese, além das vantagens de cunho sustentável, a análise técnica proporciona a comprovação de melhorias do novo método em relação a pavimentação tradicional (Sampaio, 2005). Sendo elas:

- Aumento na Viscosidade;
- Aumento na Elasticidade;
- Baixo impacto a variação climática;
- Elevada durabilidade;
- Baixo índice de fissuração;
- Baixa emissão de ruídos;
- Elevada capacidade impermeabilizante;
- Elevada aderência superficial.

As vias onde são executadas a camada de rolamento em CBUQ, em via de regra possuem baixa durabilidade se comparado a outros materiais. Estimasse que esteja próximo de 15 anos devido as percas de propriedades naturais do CAP convencional. Entretanto, com a adição do pó de borracha, tendo como base os resultados apresentados anteriormente, facilmente essa longevidade chegará a 30 anos.

2.4.2 Desvantagens

Segundo Specht (2004), como a maioria das tecnologias sustentáveis, o asfalto-borracha não é perfeito, em seu processo de transformação em pó, e na mistura com o ligante asfáltico, são necessárias altas temperaturas no qual prejudicam a atmosfera com a liberação de componentes danosos presentes nos derivados dos pneus inservíveis.

Embora atualmente o grupo GRECA já tenha conseguido melhorar significativamente esse efeito, ele ainda continua presente, com uma menor intensidade, onde a perspectiva é que com passar do tempo, possamos sanar totalmente essa problemática.

Além disso, com a adição de um novo material ao CAP convencional, existe o acréscimo no preço final por tonelada, onde segundo o DNIT, é de 8,77% em comparação ao método tradicional. No item a seguir, será tratado de forma mais

detalhada essa desvantagem, no qual acaba não tendo um efeito tão relevante em comparação ao descrito no parágrafo anterior.

2.5 Viabilidade Econômica

Um dos principais pontos na análise do asfalto-ecológico, ou melhor, de todas as tecnologias que visam formas alternativas no âmbito sustentável, é a análise de viabilidade econômica. Para isso, utilizaremos os anexos I e II, que são composições de custo criadas pelo próprio DNIT e expressas através do Sistema de Custos Referenciais de Obras - SICRO.

Podemos observar no anexo I, no qual trata do Concreto Asfáltico Convencional, com CAP 50/70, que o seu custo final para a região do Rio Grande do Norte – RN, é de R\$ 160,03 por tonelada, já o anexo II, possui o mesmo CAP 50/70, porém com um aditivo de 15% de borracha de pneu, elevando seu custo para R\$ 174,07 por tonelada.

Realizando uma operação simples, o CAP-Borracha possui um acréscimo de R\$ 14,04 por tonelada, no qual em percentual representa 8,77%, em comparação ao CAP Convencional. No primeiro momento, imagina-se que por possui um custo maior o mesmo torna-se inviável, entretanto alguns fatores são decisivos para viabilizar a tecnologia, que são: Os benefícios mecânicos, de durabilidade, de sustentabilidade e a espessura da capa de rolamento.

Devido a maior elasticidade e resistência mecânica, o asfalto-borracha possui uma maior durabilidade, como consequência um menor custo de manutenção. Já quanto a espessura da camada, nos asfaltos convencionais trabalhasse normalmente com 5 cm, com o asfalto-borracha, essa dimensão cai para 3,5 cm. Ainda assim, se considerássemos apenas o primeiro fator, esse já viabilizaria a utilização desse novo método.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com a peça técnica, foram expostas as problemáticas causadas pelo descarte inadequado dos pneus no meio-ambiente, no qual devido suas características físicas, tem proporcionado a proliferação de doenças, como também a poluição de rios, queimas irregulares em aterros sanitários e a degradação da natureza de forma geral.

Além disso, foi apresentado um pouco da evolução no setor de pneumáticos, onde torna-se notório que as ações em contrapartida têm que ser de forma rápida e eficiente. Em seguida, introduzimos o assunto alvo do nosso trabalho, a proposta de reutilização de pneus inservíveis, realocados no próprio meio em que eles foram feitos para transitar.

Não a como falar de sustentabilidade sem que ocorra um apelo as políticas públicas, as ações tomadas pelos governantes têm um poder gigantesco na proteção do meio-ambiente, como citado, a criação de leis que incentivam a utilizações de mecanismos sustentáveis, pode mudar a qualidade de vida de uma sociedade, além de garantir um mundo melhor para as próximas gerações.

Com base nisso, o asfalto-borracha tem apresentado em um cenário nacional e internacional, excelentes resultados e demonstrado a sua viabilidade técnica, financeira e sustentável, destacando-se como um dos processos de reutilização de pneus inservíveis, mais marcantes, com maior potencial e com menor impacto ao meio-ambiente.

Por fim, a incorporação de borracha de pneu em fim de vida no ligante asfáltico, provou ser importante para resolver problemas crônicos no nosso país, tanto ambientais quanto socioeconômicos, tendo em vista a maior durabilidade e a menor necessidade de manutenção. Esperamos que essa tecnologia possa ser de fato implantada em todo território nacional e internacional e que vivamos os efeitos positivos decorrentes dessas ações.

4 REFERÊNCIAS

ANIP – Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos. **Produção da Indústria Brasileira de Pneus em 2009**. Disponível em:

BEDUSCHI, Eliane Fátima Strapazzon. **Utilização de pneus inservíveis na composição da massa**. Universidade do Oeste de Santa Catarina, 2014. Disponível em: Acesso em 12 ago. 2018.

BRANCO, Samuel Murgel. **O meio ambiente em debate**. 26 ed. São Paulo: Editora Moderna. Coleção Polêmica, São Paulo, 1997.

CANEPA, Carla. Educação ambiental: **ferramenta para a criação de uma nova consciência planetária**. Revista de Direito Constitucional e Internacional. São Paulo, v. 12, n. 48, p.158-166, Jul. - Set. 2004.

CONAMA - **Conselho Nacional do Meio Ambiente**. Resolução CONAMA no. 258, de 26 de agosto de 1999. Resoluções. Disponível em: . Acesso em 13 ago. 2018.

D'ALMEIDA, M.L.O & VILHENA, A. **Lixo Municipal. Manual de Gerenciamento Integrado**, IPT, Instituto de Pesquisas Tecnológicas/CEMPRE, Compromisso Empresarial para Reciclagem, 2ª ed. São Paulo/SP, Publicação IPT 2.622 - ISBN 85-09-00113-8. 2000.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER – IPR. Pavimento – **Manual de reabilitação de pavimentos asfálticos**. 1998.

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

DNIT – **Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes**. Disponível em: <http://www.dnit.gov.br/>. Acesso em 09 set. 2018.

FAXINA, A.L. (2002) **Estudo em Laboratório do Desempenho de Concreto Asfáltico Usinado a Quente Empregando Ligante Tipo Asfalto-Borracha**. 112f. Dissertação de Mestrado, EESC, São Carlos, SP, Brasil.

GONÇALVES, F. P. **Estudo experimental do desempenho de pavimentos flexíveis a partir de instrumentação e ensaios acelerados**. 395f. Tese de Doutorado. Rio Grande do Sul: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2002.

LACERDA, Mariana. Pneus que viram asfalto. **Revista Super Interessante**, jul. 2003. Disponível em: Acesso em 10 ago. 2018.

LAGARINHOS, C.A.F.; TENÓRIO, J.A.S. **Tecnologias Utilizadas para a Reutilização, Reciclagem e Valorização Energética de Pneus no Brasil**. Polímeros: Ciência e Tecnologia, vol. 18, nº 2, p. 106-118, 2008.

LAGARINHOS, Carlos Alberto Ferreira. **Reciclagem de pneus: análise do impacto da legislação ambiental através da logística reversa.** Tese de doutorado à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2011.

MARCHESI, Roberta Zanenga de Godoy. **Descarte de pneumáticos inservíveis: análise econômica da política pública brasileira.** Mestrado em Gestão Econômica do Meio Ambiente. Universidade de Brasília, 2010.

MELNYK, S. A., SROUFE R. P. & CALANTONE, R. **Assassin's the impact of environmental management systems on corporate and environmental performance.** Journal of Operations Management. USA, Vol. 21, n. 3, p. 329-351, mai 2003.

MARTINS, H. A. F. **A Utilização da Borracha de Pneus na Pavimentação Asfáltica.** Disponível em: <http://engenharia.anhemi.br/tcc-04/civil-14.pdf>. Acesso em: 18 set. 2018.

NEVES, F.C. L. D. **Avaliação Laboratorial de Misturas Asfálticas SMA Produzidas com Ligante Asfalto - Borracha.** 118f. Dissertação de Mestrado. São Carlos: Universidade de São Paulo, 2004.

ODA, Sandra; JÚNIOR, José Leomar Fernandes. **Borracha de pneus como modificador de cimentos asfálticos para uso em obras de pavimentação.**

Maringá, v. 23, n. 6, p. 1589-1599, 2001.

ODA, Sandra. **Análise da Viabilidade Técnica da Utilização do Ligante Asfalto Borracha em Obras de Pavimentação.** Tese (Doutorado em Transportes) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000 PENNA, Carlos Gabaglia. **O estado do planeta: sociedade de consumo e degradação ambiental.** Rio de Janeiro: Record, 1999.

RUSSO, Mário Augusto Tavares. **Tratamento de Resíduos sólidos.** Universidade de Coimbra, 2003. Disponível em: Acesso em 09 ago. 2018.

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

SANTOS, A.C. **Avaliação do comportamento do concreto com adição de borracha obtida a partir de reciclagem de pneus com aplicação em placas pré-moldadas.** 2008.

SPÍNOLA, Ana Luiza. Consumo sustentável: **o alto custo dos produtos que consumimos.** Revista de Direito Ambiental. São Paulo, v. 6, n. 24, p. 209-216, outubro, 2001.

SPECHT, L. P. **Avaliação de misturas asfálticas com incorporação da borracha reciclada de Pneus.** 116f. Tese Doutorado – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2004.

PIVOTO, L. Avaliação de Misturas Asfálticas com Incorporação de Borracha Reciclada de Pneus. 115f. Dissertação de Mestrado. Rio Grande do Sul: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2007.

OVIEDO, Douglas Pereira. Asfalto com adição de borracha de pneus inutilizáveis. 2018. Número total de folhas 33. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Uniderp, Campo Grande, 2018.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, autor da vida, ser supremo sobre toda criação, sem ele nada sou e nada poderia fazer.

A minha querida esposa Iliana Stephany, atenciosa e zelosa, a minha filha Ísis Ioná, com sua pureza me traz esperança e paz, vocês são e sempre serão o principal motivo de todo meu esforço, amo vocês!

Aos meus pais, José Edmilson e Ester Alves, através do amor e apoio de vocês, pude me tornar o homem que sou, reconheço que apesar de todas as dificuldades, sempre fizeram o possível e o impossível para me ajudar.

Ao meu grande amigo e irmão em Cristo, Capitão José Rosemberg da Silva Jerônimo Leite, o senhor sempre estará em meu coração, passamos muitas coisas juntos ao longo dessa formação, avante!

Ao atual Presidente da República, Excelentíssimo Senhor Jair Messias Bolsonaro, pela manutenção do Programa Universidade Para Todos (Prouni), prometo que recompensarei a nação Brasileira através dos conhecimentos adquiridos e honrarei cada centavo investido pelos contribuintes em minha formação.

Por Italo Alves de Lima

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus, a Jesus e ao Espírito Santo, pois deles vêm todo poder e sabedoria, por não nos deixar desistir nos momentos de desespero e por tornar nosso sonho real.

A minha amada esposa Lucilene, forte e guerreira, ao meu filho Alex e a minha filha Laura, onde o amor e a paz sempre reinaram na minha família, esse sucesso só foi possível com o apoio incondicional de vocês, muito obrigado.

Aos meus pais (in memoria) Sr. Francisco Jerônimo Leite e a minha mãe Maria José da Silva Leite, sem o amor, o carinho e o cuidado de vocês, hoje eu não seria o homem que sou.

Ao meu grande amigo e irmão Ítalo Alves, companheiro de muitas batalhas no decorrer desses cinco anos, hoje tenho você como irmão de sangue, juntos somos mais fortes.

Por Rosemberg da Silva Jerônimo Leite

ANEXO I

Composição de Custo Asfalto Convencional

Relatório Analítico de Composições de Custo
SICRO / Referência: 01-2022 / pg. 6127

CGCIT

DNIT

SISTEMA DE CUSTOS REFERENCIAIS DE OBRAS - SICRO		Rio Grande do Norte		Produção da equipe		99,60000 t
Custo Unitário de Referência		Janeiro/2022				Valores em reais (R\$)
6416143 Usinagem de concreto asfáltico - faixa B - areia e brita comerciais						
A - EQUIPAMENTOS	Quantidade	Utilização		Custo Horário		Custo Horário Total
		Operativa	Improdutiva	Produtivo	Improdutivo	
E9559 Aquecedor de fluido térmico - 12 kW	1,00000	1,00	0,00	74,9009	43,8644	74,9009
E9584 Carregadeira de pneus com capacidade de 1,72 m³ - 113 kW	1,00000	0,81	0,19	168,5337	81,5857	152,0136
E9021 Grupo gerador - 456 kVA	1,00000	1,00	0,00	371,7475	21,9544	371,7475
E9558 Tanque de estocagem de asfalto com capacidade de 30.000 l	2,00000	1,00	0,00	58,7832	40,1532	117,5664
E9889 Usina de asfalto a quente gravimétrica com capacidade de 100/140 th - 280 kW	1,00000	1,00	0,00	1.062,4758	561,8408	1.062,4758
Custo horário total de equipamentos						1.778,7942
B - MÃO DE OBRA	Quantidade	Unidade		Custo Horário		Custo Horário Total
P9824 Servente	4,00000	h		17,9374		71,7496
Custo horário total de mão de obra						71,7496
Custo horário total de execução						1.850,5438
Custo unitário de execução						18,5798
Custo do FIC						-
Custo do FIT						-
C - MATERIAL	Quantidade	Unidade		Preço Unitário		Custo Unitário
M0028 Areia média	0,24214	m³		144,8137		35,0652
M0005 Brita 0	0,05765	m³		123,5378		7,1220
M0191 Brita 1	0,17820	m³		111,6414		19,8945
M0344 Cal hidratada - a granel	51,88000	kg		0,4374		22,6923
M1943 Cimento asfáltico de petróleo - CAP 50/70	0,05660	t		0,0000		0,0000
M1941 Óleo tipo A1	8,00000	l		5,0648		40,5184
M1103 Pedrisco	0,11835	m³		120,4205		14,0109
Custo unitário total de material						139,3033
D - ATIVIDADES AUXILIARES	Quantidade	Unidade		Custo Unitário		Custo Unitário
Custo total de atividades auxiliares						
Subtotal						157,8831
E - TEMPO FIXO	Código	Quantidade	Unidade		Custo Unitário	Custo Unitário
M0028 Areia média - Caminhão basculante 10 m³	5914647	0,36321	t		1,4700	0,5339
M0005 Brita 0 - Caminhão basculante 10 m³	5914647	0,08648	t		1,4700	0,1271
M0191 Brita 1 - Caminhão basculante 10 m³	5914647	0,26730	t		1,4700	0,3929
M0344 Cal hidratada - a granel - Caminhão silo 30 m³	5914363	0,05188	t		16,1800	0,8394
M1103 Pedrisco - Caminhão basculante 10 m³	5914647	0,17453	t		1,4700	0,2566
Custo unitário total de tempo fixo						2,1499
F - MOMENTO DE TRANSPORTE	Quantidade	Unidade	DMT			Custo Unitário
			LN	RP	P	
M0028 Areia média - Caminhão basculante 10 m³	0,36321	tkm	5914359	5914374	5914389	
M0005 Brita 0 - Caminhão basculante 10 m³	0,08648	tkm	5914359	5914374	5914389	
M0191 Brita 1 - Caminhão basculante 10 m³	0,26730	tkm	5914359	5914374	5914389	
M0344 Cal hidratada - a granel - Caminhão silo 30 m³	0,05188	tkm	5914364	5914365	5914366	
M1103 Pedrisco - Caminhão basculante 10 m³	0,17453	tkm	5914359	5914374	5914389	
Custo unitário total de transporte						
Custo unitário direto total						160,03

Obs:

ANEXO II

Composição de Custo Asfalto Borracha

Relatório Analítico de Composições de Custo
 SICRO / Referência: 01-2022 / pg. 6141

CGCIT

DNIT

SISTEMA DE CUSTOS REFERENCIAIS DE OBRAS - SICRO		Rio Grande do Norte		Produção da equipe		84,66000 t
Custo Unitário de Referência		Janeiro/2022		Valores em reais (R\$)		
6416212 Usinagem de concreto asfáltico com borracha - faixa B - brita comercial						
A - EQUIPAMENTOS	Quantidade	Utilização		Custo Horário		Custo Horário Total
		Operativa	Improdutiva	Produtivo	Improdutivo	
E9559 Aquecedor de fluido térmico - 12 kW	1,00000	1,00	0,00	74,9909	43,8644	74,9909
E9584 Carregadeira de pneus com capacidade de 1,72 m³ - 113 kW	1,00000	0,09	0,31	168,5337	81,5857	141,5798
E9021 Grupo gerador - 456 kVA	1,00000	1,00	0,00	371,7475	21,9544	371,7475
E9074 Tanque de estocagem de asfalto com agitadores de 60.000 l	2,00000	1,00	0,00	46,9771	32,0888	93,9542
E9689 Usina de asfalto a quente gravimétrica com capacidade de 100/140 t/h - 290 kW	1,00000	1,00	0,00	1.062,4758	561,8408	1.062,4758
				Custo horário total de equipamentos		1.744,7482
B - MÃO DE OBRA	Quantidade	Unidade		Custo Horário		Custo Horário Total
P9824 Servente	4,00000	h		17,9374		71,7496
				Custo horário total de mão de obra		71,7496
				Custo horário total de execução		1.816,4978
				Custo unitário de execução		21,4564
				Custo do FIC		-
				Custo do FIT		-
C - MATERIAL	Quantidade	Unidade		Preço Unitário		Custo Unitário
M0005 Brita 0	0,05765	m³		123,5378		7,1220
M0191 Brita 1	0,17820	m³		111,6414		19,8945
M0344 Cal hidratada - a granel	51,88000	kg		0,4374		22,6823
M3228 Cimento asfáltico de petróleo com borracha - CAP 50/70 com 15% de borracha de pneu	0,05660	t		0,0000		0,0000
M1941 Óleo tipo A1	14,00000	l		5,0648		70,9072
M1103 Pedrisco	0,11635	m³		120,4205		14,0109
M1135 Pó de pedra	0,24214	m³		65,3942		15,8346
				Custo unitário total de material		150,4615
D - ATIVIDADES AUXILIARES	Quantidade	Unidade		Custo Unitário		Custo Unitário
				Custo total de atividades auxiliares		
				Subtotal		171,9179
E - TEMPO FIXO	Código	Quantidade	Unidade		Custo Unitário	Custo Unitário
M0005 Brita 0 - Caminhão basculante 10 m³	5914647	0,08648	t		1,4700	0,1271
M0191 Brita 1 - Caminhão basculante 10 m³	5914647	0,28730	t		1,4700	0,3929
M0344 Cal hidratada - a granel - Caminhão silo 30 m³	5914363	0,05188	t		16,1800	0,8384
M1103 Pedrisco - Caminhão basculante 10 m³	5914647	0,17453	t		1,4700	0,2566
M1135 Pó de pedra - Caminhão basculante 10 m³	5914647	0,36321	t		1,4700	0,5339
				Custo unitário total de tempo fixo		2,1499
F - MOMENTO DE TRANSPORTE	Quantidade	Unidade	DMT			Custo Unitário
			LN	RP	P	
M0005 Brita 0 - Caminhão basculante 10 m³	0,08648	tkm	5914359	5914374	5914389	
M0191 Brita 1 - Caminhão basculante 10 m³	0,26730	tkm	5914359	5914374	5914389	
M0344 Cal hidratada - a granel - Caminhão silo 30 m³	0,05188	tkm	5914364	5914365	5914366	
M1103 Pedrisco - Caminhão basculante 10 m³	0,17453	tkm	5914359	5914374	5914389	
M1135 Pó de pedra - Caminhão basculante 10 m³	0,36321	tkm	5914359	5914374	5914389	
			Custo unitário total de transporte			
			Custo unitário direto total			174,07

Obs: