

CENTRO UNIVERSITÁRIO ATENAS

MÁRCIO MURILO UCHOA MARTINS

PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA: asfalto ecológico

Paracatu

2019

MÁRCIO MURILO UCHOA MARTINS

PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA: asfalto ecológico

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Atenas, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Meio Ambiente

Orientadora: Prof.^a. Ellen Mayara Santos Cardoso

Paracatu

2019

MÁRCIO MURILO UCHOA MARTINS

PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA: asfalto ecológico

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Atenas, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Meio Ambiente

Orientadora: Prof.^a. Ellen Mayara Santos Cardoso

Banca Examinadora:

Paracatu – MG, _____ de _____ de _____.

Prof.^a. Ellen Mayara Santos Cardoso
Centro Universitário Atenas

Prof.
Centro Universitário Atenas

Prof.
Centro Universitário Atenas

Dedico aos meus pais, pelo estímulo, carinho e compreensão, pessoas realmente maravilhosas em minha vida, que em nenhum momento negaram auxílio, amor e carinho para mim. Nos momentos mais difíceis somaram suas experiências e me fizeram crer na vida só se vence através da união e do amor incondicional. Dedicção eterna a vocês o meu lema.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, presença constante em minha vida e por ter me capacitado intelectualmente e espiritualmente em todas as etapas da minha vida, por estar me permitido concluir este curso.

Aos meus pais pelos princípios e ensinamentos durante toda a minha vida e trajetória acadêmica, não medindo esforços para que eu estivesse nesse momento tão importante de conclusão de curso.

Agradeço aos meus colegas de sala, pelo apoio, ajuda, ensinamentos, companheirismo e juntos estamos vencendo mais essa etapa da vida.

Ao meu professor e orientador Ellen Mayara Santos Cardoso que não mediu esforços para orientar. Dedicou tempo e valho-me de sua sabedoria e dedicação para que me tornar um profissional melhor a cada dia. Agradeço pela amizade que se criou nesse pouco tempo de convivência.

Um ladrão rouba um tesouro, mas não furta a inteligência. Uma crise destrói uma herança, mas não uma profissão. Não importa se você não tem dinheiro, você é uma pessoa rica, pois possui o maior de todos os capitais: a sua inteligência. Invista nela. Estude.

Augusto Cury.

RESUMO

Os pneus velhos são considerados hoje um dos maiores causadores de poluição no mundo, e a preocupação com a isto faz com que este assunto seja mais estudado a fim de prevenir mais poluição. Este trabalho tem como objetivo apresentar por meio de revisão bibliográfica algumas maneiras da melhor utilização de pneus considerados inservíveis, as vantagens ambientais e econômicas do uso de borracha em pavimentação asfáltica, que por sua vez é uma maneira economicamente correta para destinar os pneus inservíveis, resolvendo um grande problema ecológico. Além de descrever o processo de incorporação do pó borracha no ligante asfáltico para a criação do asfalto borracha. Conclui-se que a reutilização de pneus para o uso do asfalto borracha ou asfalto ecológico apresenta grande melhoria para a pavimentação como flexibilidade, elasticidade, aderência, eliminação de trincas asfálticas. Outro fato que se destaca é a não contaminação do meio ambiente com o descarte indevido dos pneus.

Palavras-chave: Asfalto borracha. Asfalto ecológico. Responsabilidade Ambiental. Pneus inservíveis.

ABSTRACT

Old tires are now considered one of the biggest polluters in the world, and concern about this makes this subject more studied in order to prevent further pollution. This paper aims to present, through a bibliographical review, some of the best ways of using tires considered inservice, the environmental and economic advantages of the use of rubber in asphalt paving, which in turn is an economically correct way to destine the tires unusable, resolving a major ecological problem. In addition to describing the process of incorporating the rubber powder into the asphalt binder for the creation of rubber asphalt. It is concluded that the reuse of tires for the use of asphalt rubber or ecological asphalt presents great improvement for the pavement as flexibility, elasticity, adhesion, elimination of asphaltic cracks. Another fact that stands out is the non-contamination of the environment with the undue disposal of the tires.

Keywords: *Rubber asphalt. Ecological asphalt. Environmental responsibility. Unusable tires..*

LISTA DE GRÁFICOS

FIGURA 1 –	Descarte de pneus em terrenos baldios.	14
FIGURA 2 –	Poluição causada pelo descarte inadequado de pneus.	16
FIGURA 3 –	Exemplo de utilização de pneus em drenagens.	17
FIGURA 4 –	Exemplo de reciclagem com pneus.	19
FIGURA 5 –	Formas de reutilização de pneus descartados.	18
FIGURA 6 –	Processo de transformação do pneu em pó borracha.	24
FIGURA 7 –	Esquema do processo de incorporação do pó de borracha à mistura asfáltica e o resultado de cada processo.	25

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1. PROBLEMA DE PESQUISA	11
1.2. HIPÓTESES	11
1.3 OBJETIVOS	11
1.3.1. OBJETIVO GERAL	11
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
1.4. JUSTIFICATIVA DO ESTUDO	12
1.5 METODOLOGIA DO ESTUDO	12
1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO	13
2 REAPROVEITAMENTO DE PNEUS COMO MANEIRA DE EVITAR A POLUIÇÃO	14
3 VANTAGENS E DESVANTAGENS DO ASFALTO ECOLÓGICO	20
4 PROCESSO DE INCORPORAÇÃO DA BORRACHA NO LIGANTE ASFALTICO	23
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	26
REFERÊNCIAS	27

1 INTRODUÇÃO

As malhas rodoviárias no Brasil são um dos temas cada vez mais abordados devido à circunstância que as mesmas se encontram com o grande número de acidentes nas rodovias federais, estaduais e municipais que são direcionadas as más condições das vias que os veículos trafegam. Esse direcionamento se dá devido à falta de conservação, reparo e vida útil do asfalto que são colocados nas rodovias (ODA; FERNANDES JÚNIOR, 2001).

Uma alternativa cada vez mais usual para a pavimentação das vias devido a sua maior resistência, conservação e vida útil em comparação ao asfalto tradicional utilizado no Brasil é o chamado asfalto borracha onde ocorre a incorporação da Borracha Moída de Pneu (BMP) ao asfalto convencional mais utilizado no Brasil, o Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) (RAMALHO, 2009).

De acordo com Specht (2004), o adicionamento de BMP ao CBUQ engloba inúmeros benefícios ao revestimento asfáltico, tais como aumento da sua ductilidade, redução de suscetibilidade térmica proporcionando estabilidade em altas temperaturas e reduzindo assim o número de trincas na pavimentação.

É de extrema importância a modificação de CBUQ com BMP para o âmbito ambiental. Como o polímero de BMP utilizado na pavimentação asfáltica é derivado de pneus que não estão em rodagem nos carros, os pneus em desuso são reutilizados na pavimentação e não são despejados ao meio ambiente (RAMALHO, 2009).

No ano de 2001 o asfalto borracha foi utilizado pela primeira vez no Brasil na rodovia BR-116 localizada entre Guaíba e Camaquã – RS e fizeram uma comparação no mesmo trecho com o asfalto tradicional. Após o prazo de cinco anos foi realizado um teste de verificação nos dois pavimentos e foi notado que a pavimentação tradicional já apresentava avarias e necessitava de reparos devido a algumas trincas que nele encontrava, por sua vez, a pavimentação do asfalto borracha se mantinha em ótimo estado de conservação (BERNUCCI *et al.*, 2010).

Sendo assim, o objetivo do trabalho é realizar um estudo sobre o CBUQ alterado por BMP, mostrando seus benefícios em relação ao revestimento asfáltico já utilizado nas rodovias do país. Serão realizadas pesquisas bibliográficas em relação aos benefícios da utilização do asfalto borracha nas rodovias, na execução, fabricação e utilização.

1.1. PROBLEMA DE PESQUISA

Quais as vantagens ambientais e econômicas do uso de borracha em pavimentação asfáltica?

1.2. HIPÓTESES

- a) Além de ser uma forma reciclável, os pneus inservíveis também são destinados para algo útil, resolvendo um grande problema ecológico, assim o desempenho e a qualidade do asfalto.
- b) O asfalto borracha possui características semelhantes aos pneus propriamente dito com alta flexibilidade e elasticidade, fazendo com que o asfalto consiga suportar melhor a grande carga causada pelo fluxo de veículos. Essa flexibilidade diminui a quantidade de trincas na pista, além de ser mais resistente que o asfalto convencional.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GERAL

Descrever as vantagens e desvantagens do asfalto borracha observando a viabilidade em relação ao asfalto comum.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Discutir o reaproveitamento de pneus como maneira de evitar a poluição;
- b) Elencar vantagens e desvantagens do asfalto borracha;
- c) Apresentar o processo de incorporação da borracha no ligante asfáltico.

1.4. JUSTIFICATIVA DO ESTUDO

Nesse contexto de rodovias afetadas e com baixa resistência, o asfalto borracha também conhecido como asfalto ecológico, já utilizado em vários países, como na África do Sul, Estados Unidos, Portugal entre outros, pode ser a medida mais viável economicamente, além de resolver problemas ambientais e sociais (RAMALHO, 2009).

Pode-se dizer que o descarte de pneus usados é um dos maiores problemas ambientais da atualidade. O aproveitamento desse material em obras de engenharia está se tornando uma boa alternativa de uso. O asfalto borracha vem sendo apresentado como uma tecnologia eficaz, que pode vir a garantir estradas mais resistentes e mais seguras para os que trafegam (CLARO NETO, 2004).

Com esta nova tecnologia asfalto borracha, temos que alertar e aderir nossa nação, para que possamos ter o privilégio de um asfalto de qualidade e que dure mais tempo, sem contar que estaremos contribuindo para a natureza.

1.5 METODOLOGIA DO ESTUDO

A metodologia utilizada nesse trabalho foi a pesquisa da tecnologia do asfalto de borracha, o objetivo é expor algumas maneiras de reutilizar os pneus não mais utilizados, apresentar vantagens e desvantagens do asfalto borracha, além de descrever o processo de incorporação do pó borracha no ligante asfáltico.

A revisão literária é de extrema importância em um trabalho acadêmico, pois é, por intermédio dela, que o autor situa ou restringe a área de atuação de pesquisa dentro de uma gleba geral, e assim, contextualizando o trabalho (CRUZ; RIBEIRO, 2004).

A revisão bibliográfica tem por objetivo verificar a importância da obra consultada para pesquisa. Para a utilização de tal pesquisa foram utilizados livros e periódicos que compõe instrumentos valiosos para o tema estudado neste trabalho. O objetivo foi obter informações em artigos científicos e livros de acervo do Centro Universitário Atenas e dos sites *Scielo*, *Lilacs* e *Google Acadêmico*, uma vez que buscará explicar o problema a partir de referências teóricas publicadas em documentos sobre a gestão de processos e importância do layout no canteiro da construção civil (GIL, 2010).

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

Esta pesquisa encontra-se assim estruturada: o capítulo 1 contém a introdução e os tópicos que a compõem; problema, objetivos, justificativa, hipótese e metodologia e estrutura do trabalho.

O capítulo 2 menciona sobre o reaproveitamento de pneus para como maneira de evitar a poluição. Este reaproveitamento é uma forma de reciclagem com o intuito de economizar com a matéria prima e evitar o descarte incorreto dos pneus de automóveis, máquinas agrícolas e afins.

O capítulo 3 apresenta a revisão da literatura no qual destaca-se a as vantagens e desvantagens do uso da pavimentação ecológica com a utilização da borracha e as suas qualidades ao longo dos anos.

O quarto capítulo descreve o processo de incorporação da borracha no ligante asfáltico.

Por fim, o último capítulo caracterizado pelas considerações finais onde serão relatados os resultados encontrados sobre cada objetivo específico.

2 REAPROVEITAMENTO DE PNEUS COMO MANEIRA DE EVITAR A POLUIÇÃO

Os pneus velhos são considerados hoje um dos maiores causadores de poluição no mundo, e a preocupação com a isto faz com que este assunto seja mais estudado a fim de prevenir mais poluição. O principal estímulo aos projetos para a inserção dos substratos de borracha decorrentes de pneus é a sua reutilização como matéria prima de insumos (SANTOS et al, 2011).

Os pneus são itens indispensáveis no mundo moderno, este trouxe comodidade e autonomia para a sociedade humana, sendo inimaginável o mundo sem essa invenção. No entanto, este artefato exterioriza uma enorme preocupação em relação à responsabilidade ambiental quando o mesmo não tem mais serventia. É comum presenciar em locais inadequados como terrenos abandonados o acúmulo de pneus que foram descartados pela população conforme mostra a figura 1 (SANTOS et al, 2011).

FIGURA 1 – Descarte de pneus em terrenos baldios.



Fonte: G1, 2016².

O descarte desse material em locais indevidos é bastante preocupante, uma vez que esta ação desencadeia alguns problemas ambientais como poluição visual e favorece o aparecimento de doenças como Dengue, Zika, e Chikungunya que são doenças propagadas pelo mosquito *Aedes aegypti*, além de servir como

moradia para outros tipos de animais transmissores de doenças (SANTOS et al, 2011).

De acordo com Bertollo *et. al.*, (2000), todo o pneu que é utilizado em algum equipamento, após a sua vida útil, é descartado e se torna danoso a saúde humana e de animais e poluindo o meio ambiente. Com o intuito de acabar com essa prática de descarte indiscriminado, uma solução cabível deverá ser adotada para a destinação final do pneu.

Os pneus em grande parte não são destinados aos aterros sanitários, devido os mesmos não permitir serem compactados por máquinas. A maioria é queimado a céu aberto liberando gases que causam problemas ambientais severos. Os pneus que são armazenados a céu aberto em pilhas, também servem para a proliferação de mosquitos, ratos e doenças que afetam a saúde do ser humano (MARTINS, 2004).

Conforme Moraes (2009), o mercado que tem reutilizados os pneus reciclados são os de fábricas de papel, fornos de cimento, usinas de energia, que utilizam os pneus como fonte de combustível, representando grande parte da indústria de reciclagem nacional. Diversas empresas também fabricam calçados através dos pneus que teriam o descarte confirmado. Sendo assim, o intuito é reciclar para manter o desenvolvimento sustentável do Brasil.

A poluição é o resultado da utilização exacerbada de recursos naturais pela população. Os resíduos gerados pelas práticas humanas causam um efeito negativo no ambiente, ou seja, os poluentes liberados pela população acumulam-se no solo, ar e água, causando um resultado indesejado que é a poluição (SANTOS *et. al.*, 2011).

Figura 2 – Poluição causada pelo descarte inadequado de pneus.



Fonte: O GLOBO, 2014.

De forma a tentar diminuir esse fenômeno é que se deu início à ideia de reutilizar os pneus descartados evitando a poluição ambiental e oferecendo à população um crescimento econômico com a criação do asfalto ecológico proveniente dos pneus usados (SANTOS *et. al.*, 2011).

A reutilização dos pneus de borracha trouxe como questionamento o impacto ambiental causado pelo grande número de pneus que são descartados em locais inadequados, gerando contrariedades além de ser fator de risco para várias doenças. O reaproveitamento evita que os pneus que tecnicamente iriam para o descarte não sejam fonte de poluição (BERTOLLO *et. al.*, 2000).

A maior dificuldade encontrada para dar continuidade ao processo de reciclagem dos pneus descartados é o alto custo da coleta e transporte dos pneus para o destino correto deste elemento. A falta de conhecimento das pessoas sobre onde descartar os pneus, também é outra dificuldade encontrada, o fato de não saber o destino correto dos insumos faz com que os pneus sejam jogados em locais públicos e acabam ficando esquecidos, podendo causar doenças e entulhos quando jogados em grandes quantidades (SANTOS *et. al.*, 2011).

A Resolução CONAMA 416/09 de 2009 disciplina a obrigação de destinar adequadamente os pneus inservíveis pelas empresas fabricantes e importadoras de pneus. Segundo esta resolução, “para cada pneu novo comercializado no mercado de reposição, as empresas fabricantes ou importadoras deverão dar destinação correta, a um pneu inservível”, exceto reformadores, pois eles já praticam ações que

corroboram para a preservação do meio ambiente ao estender a vida útil dos pneus que seriam descartados (CONAMA, 2009).

Após ser descartado por não servir mais, o pneu pode receber diversos destinos. A reciclagem de pneus é um ciclo. O processo começa através da coleta dos pneus, depois ele é transportado até o local correto para descarte para começar a ser triturado para que os componentes do pneu sejam separados. Esse destino dado ao pneu é caracterizado como redução na fonte. Ao passar por esse processo o pneu está pronto para ser transformado em matérias primas e ser colocado novamente ao mercado (BERTOLLO *et. al.*, 2000).

A reciclagem do pneu também pode ser feita de outras formas como: recapagem, recauchutagem e remoldagem, queima de pneus em caldeira, coprocessamento – geração de energia, além da reutilização do pneu em sua forma inteira, sem precisar tritura-lo. De forma inteira, é possível utilizar os pneus em obras de drenagem, 15 pneus são unidos em módulos e colocados em forma de um tubo que substituem os bueiros (BERTOLLO *et. al.*, 2000).

Figura 3 – Exemplo de utilização de pneus em drenagens.



Fonte: G1, 2015¹.

Os pneus também podem ser utilizados de forma inteira como muros de arrimo ou contenção, contenção de erosão do solo, limitação de território esportivo, construção de barragens, quebra mares, recifes artificiais, reforços e/ou enchimento de aterros, galerias de águas pluviais, e até móveis feito com pneus, construção de casas com pneus inteiros “Earthship” (MARTINS, 2004).

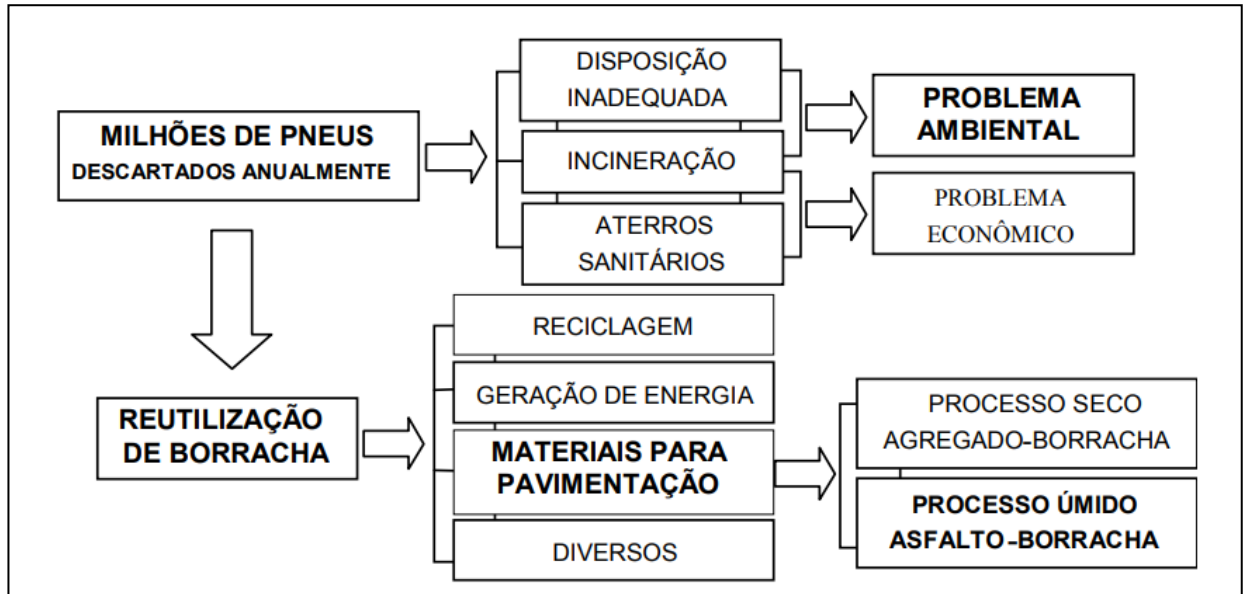
Figura 4 – Exemplo de reciclagem com pneus.



Fonte: MORAIS, 2009.

A Figura 5 mostra as principais formas de disposição e reutilização de pneus descartados.

Figura 5 – Formas de reutilização de pneus descartados.



Fonte: (ODA e FERNANDES JUNIOR, 2001).

Além de todas essas utilidades, os pneus também podem ser transformados em asfalto borracha ou asfalto ecológico que é o tema abordado neste trabalho. O asfalto borracha vem ganhando espaço no mundo por ser uma das opções preferíveis para destinar os pneus inservíveis (GARDIN *et. al.*, /2010).

A reutilização do pneu como opção para asfalto está ganhando cada vez mais o mercado nacional, pois a borracha obtida por meio da trituração é

considerada produto valioso, apresentando melhorias significativas nas propriedades mecânicas da manta asfáltica (GARDIN *et. al.*, /2010).

3 VANTAGENS E DESVANTAGENS DO ASFALTO ECOLÓGICO

O asfalto ecológico e/ou asfalto borracha foi incorporado no Brasil a partir do ano 2000, entretanto já é utilizado nos Estados Unidos há mais de 50 anos. A tecnologia não se dissipou antes, pois havia uma briga judicial, e só depois que a patente detentora dos direitos venceu a questão em juízo, a tecnologia foi liberada e outros países tiveram acesso a ela (ODA; FERNANDES JÚNIOR, 2001).

Em uma pavimentação asfáltica o material que geralmente apresenta maior tenacidade é o agregado, pois o ligante tem a função apenas de manter a união de todos os materiais que estão presentes na massa asfáltica. O melhoramento do ligante e as suas características aprimora a distribuição de cargas no mesmo, devido à elevada coesão do material (CERATTIET, 1996).

Conforme mencionado por Cerattiet *et. al.*, (1996), a atual estrutura de um pneu, tem em sua composição diversos materiais como: arame de aço, poliéster, aço de cinturão, arame, borracha, dentre outros materiais. Mas, vale ressaltar que apenas metade da estrutura física é constituída de pneu que será reutilizado e aproveitado nessa incorporação da pavimentação asfáltica, gerando assim o asfalto borracha.

O uso do asfalto ecológico ou asfalto borracha como também é mencionado, destaca-se algumas vantagens em comparação com o asfalto convencional, pois, apresenta uma durabilidade maior, em alguns casos chega a ser 40% maior que o habitual, além da questão ambiental. Assim os pneus que seriam descartados e jogados na natureza são reaproveitados e compoem a mistura asfáltica ecológica (SILVA *et. al.*, 2001).

Não existem números seguros, entretanto estima-se que no Brasil existem cerca de 8.000 (oito mil) Km de estradas pavimentadas com o asfalto ecológico. Comparado o total de rodovias no país que estão em torno de 170.000 (cento e setenta mil) Km de estradas pavimentadas, ainda é um percentual baixo o uso do asfalto borracha (LEITE, 1999).

Uma das vantagens apresentadas pelo uso do asfalto ecológico é a sua imensa versatilidade. Apesar de em temperaturas normais ser um elemento semissólido, o asfalto pode ser aquecido e mudado para a forma líquida e aplicado em construção civil (MARTINS, 2004).

As vias pavimentadas com asfalto ecológico apresentam inúmeras vantagens, sendo elas ecológicas financeiramente e também que compensam com

o uso ao longo dos anos apresentando as seguintes propriedades: maior viscosidade, melhor elasticidade, menor sensibilidade a variações extremas de temperatura, maior resistência à luz solar, maior resistência a intempéries, apresentando um menor poder de trinca asfáltica, além de uma excelente capacidade de impermeabilização (SPECHT, 2004).

O asfalto borracha também é capaz de diminuir em aproximadamente 5 decibéis o nível de ruído causado pelo tráfego de veículos, tem maior poder impermeabilizante, maior atrito entre o pavimento e o pneu, diminuindo o risco de acidentes (SPECHT, 2004).

Conforme destacado por Catapreta *et. al.*, (2016), o asfalto borracha apresentou um aumento significativo no ponto de amolecimento, uma considerável redução na penetração e também destacou que o mesmo suportou uma carga de até 203,20 Mpa. Essa pavimentação garantiu maior durabilidade, não apresentação de trincas, resistência e uma deformação que pode chegar a 10 vezes maior que a pavimentação convencional.

O asfalto borracha vem se apresentando bem próximo aos pneus, sendo altamente flexíveis e elásticos, com isso, a pavimentação asfáltica consegue se movimentar com as cargas imprimidas pelos veículos que a percorrem, e com isso, não é permitida que as trincas fossem geradas, manifestando um asfalto mais durável e resistente no decorrer dos anos (FERRARI *et. al.*, 2007).

Existem diversos fatores que são fundamentais para uma maior durabilidade da rodovia após a sua construção, dentre eles, destaca-se o tráfego constante de veículos, a temperatura do asfalto e do ambiente e principalmente a qualidade dos produtos que compõe o asfalto, esses influenciam diretamente na durabilidade da pavimentação (PAULA, 2004).

Entretanto, a pavimentação ecológica também possui desvantagens, dentre elas está a necessidade de controle tecnológico mais apurado, desembolso um pouco maior na aquisição do Ecoflex, e necessidade de maiores temperaturas de usinagem e compactação que à mistura com ligante convencional (GRECA, 2012).

Outras desvantagens do asfalto borracha é pelo fato da mistura precisar de maior temperatura no processo, isso aumento a emissão de gases poluentes e nocivos à saúde humana, gases que podem ser mutagênicos e/ou cancerígenos, sem falar do odor emitido pelos gases. Os gases e partículas emitidas pelas

misturas asfálticas provenientes dos pneus são mais prejudiciais à saúde ocupacional do que as misturas convencionais (PENSAMENTO VERDE, 2013).

O asfalto ecológico possui maior custo de produção, além da necessidade de ferramentas e/ou equipamentos especial, necessita de uma equipe profissional especialidade, entre outras desvantagens. Entretanto, a maior parte das desvantagens do asfalto borracha é devido à aspectos operacionais (PENSAMENTO VERDE, 2013).

4 PROCESSO DE INCORPORAÇÃO DA BORRACHA NO LIGANTE ASFALTICO

Para a melhoria da qualidade de vida da população dos centros urbanos e rurais é de suma importância à construção de rodovias subsidiando o desenvolvimento dos aspectos sócio-econômicos. Desde os primórdios da humanidade, a sociedade apresenta uma grande preocupação com a construção de estradas, pois estas melhoram consideravelmente o tráfego de pessoas entre as cidades, apresentando benefícios para as populações que as utilizam, tangendo o setor econômico, aumentando a geração de renda, elevando os empregos e as suas oportunidades e também facilitando o transporte de mercadorias (SILVA, ALVARENGA e MELLONI, 2008).

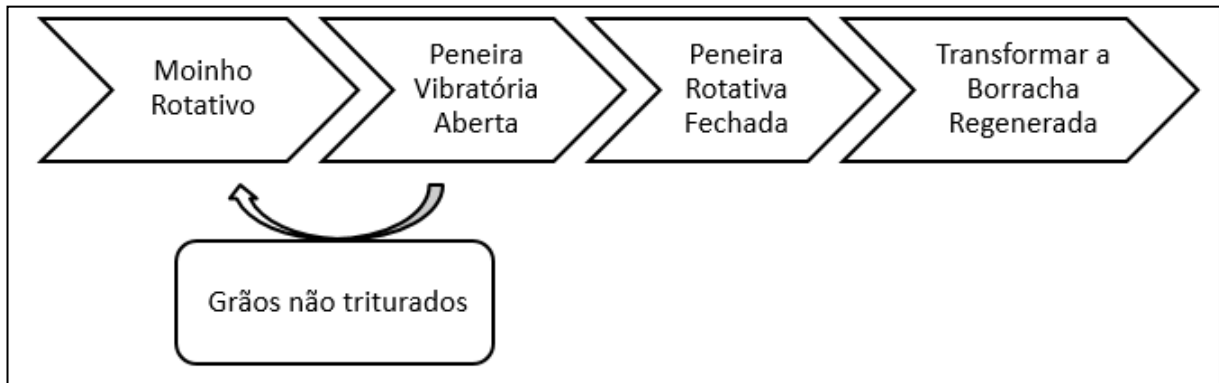
A inutilidade do pneu após a sua vida útil se torna um grande problema ambiental. Por isso foi criado o asfalto borracha que é uma das maneiras mais corretas ambientalmente para destinar o pneu inservível. O pneu usado é transformado em pó e adicionado na massa asfáltica criando um asfalto mais resistente e flexível. O processo para produzir o pó de borracha é por meio de moinhos e outros equipamentos para triturar o pneu (MARTINS, 2004)

O processo de transformação do pneu em pó borracha consiste em um ciclo fechado com vários equipamentos começando pelo moinho rotativo que é usado para moer as peças de borracha, após essa fase o material é passado pela peneira vibratória aberta para que os grãos não triturados sejam separados e devolvidos ao moinho novamente para nova trituração a fim de se obter uma granulometria necessária para ser enviado para a próxima fase (SPECHT, 2004).

O próximo equipamento é uma peneira rotativa fechada que é usada como separadora, ela é munida com malhas distintas ou iguais para a separação de pedaços adequados de borracha. O passo seguinte é transformar a borracha em uma borracha regenerada, ou pelo menos com até 65% da sua fórmula original (SPECHT, 2004).

Os pneus usados para fabricar o pó de borracha são pneus descartados por não terem mais utilidade, eles são compostos basicamente por borracha sintética, borracha natural e negro de fumo. É valido lembrar que quanto menor as partículas de pó de borracha, mais fácil é a sua integração ao asfalto. Este fato influencia diretamente no resultado do asfalto, deixando-o com maior estabilidade à estocagem (SPECHT, 2004).

Figura 6 – Processo de transformação do pneu em pó borracha.



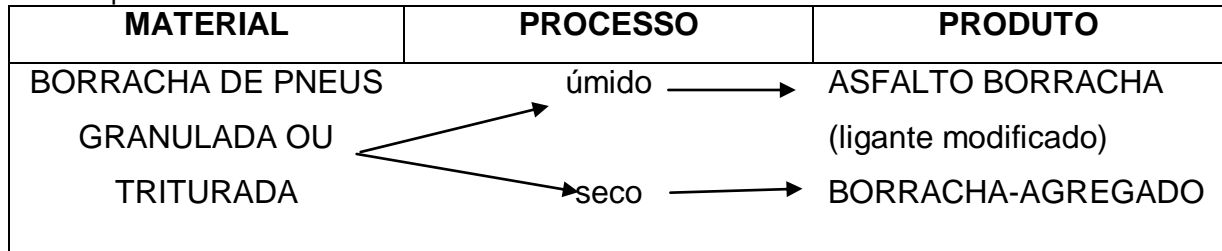
Fonte: (O autor).

Atualmente existem dois processos para realizar a moagem dos pneus inservíveis. Estes se classificam em moagem mecânica que consiste em cortar e cisalhar o material em uma temperatura ambiente. O processo pode ser realizado em moinhos com tolôs giratórios que aguentam partículas de borracha com tamanhos entre 0,425 e 4,75mm. Ou também podem ser passados em granuladores que suportam partículas de no máximo 9,5mm (SANTOS, SILVA e BERTEQUINI, 2012).

O outro método é chamado de moagem criogênica, neste caso o material é imerso em nitrogênio líquido em uma temperatura variante em -87° a 198°C . Este processo faz com que as partículas de borracha se tornem quebradiças, isto porque o material está submetido a uma temperatura abaixo à de transição vítrea dos elastômeros da borracha, que é de 62°C . O material resultante deste processo se torna partículas lisas, com tamanhos regulares variando entre 0,6 e 6,35mm (SANTOS, SILVA e BERTEQUINI, 2012).

Após a fabricação do pó de borracha existem alguns processos que tornam possível agregar o pó à mistura asfáltica, os principais métodos são o processo úmido e o processo seco. O processo seco consiste basicamente em misturar o pó de borracha direto no misturador da usina de asfalto. Neste caso o asfalto é chamado de asfalto agregado (SANTOS, SILVA e BERTEQUINI, 2012).

Figura 7 – Esquema do processo de incorporação do pó de borracha à mistura asfáltica e o resultado de cada processo.



Fonte: (SALINI, 2000).

O processo úmido é o que da origem ao asfalto-borracha, definido pela ASTM D 6114-97 como:

Uma mistura de cimento asfáltico, borracha de pneu reciclada e certos aditivos, dos quais o percentual de borracha deve ser pelo menos 15% em massa do total da mistura e sofrer reação com o ligante asfáltico aquecido de forma a causar um inchamento das partículas de borracha.

Este processo é usado há mais de 40 anos, tornou-se um assunto de muitas pesquisas e foi testado por vários departamentos de transportes no mundo todo. Nos países europeus o asfalto borracha é bastante utilizado para reduzir o ruído produzido pelo grande tráfego de veículos, além de ser mais seguro em caso de pista molhada ou em nevascas (SALINI, 2000).

No processo úmido a borracha moída é antecipadamente misturada ao ligante modificando o material permanentemente, caracterizando até 25% do peso geral do ligante asfáltico. O que ocorre neste processo é que há uma melhor transferência dos atributos de elasticidade e resistência ao envelhecimento para a mistura asfáltica original. Essa mistura se dá o nome de asfalto borracha (ODA; FERNANDES JUNIOR, 2001).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a elaboração do presente trabalho conclui-se que a reutilização de pneus para o uso do asfalto borracha ou asfalto ecológico apresenta grande melhoria para a pavimentação como flexibilidade, elasticidade, aderência e eliminação de trincas asfáltica. Outro fato que se destaca é a não contaminação do meio ambiente com o descarte indevido dos pneus.

A modificação dos ligantes asfálticos com a introdução da borracha moída oriunda de pneus inservíveis surge como uma tática alternativa que elimina o descarte do mesmo, dando nova utilidade, podendo conferir um alto desempenho ao ligante. Esta tática surge como solução para um imenso problema ambiental que é o descarte dos pneus inservíveis.

Além do imenso benefício ecológico, a reutilização dos pneus que não estão em rodagem contribui de forma considerável para que a proliferação dos mosquitos transmissores de doenças seja diminuída, pois, o material que antes era abandonado e acumulava água, desde então não está no ambiente.

Entende-se então, que a fabricação da pavimentação asfáltica com incremento do pó de borracha apresentou uma grande durabilidade comparada com o asfalto tradicional, oferecendo aos mantenedores das vias uma menor manutenção, diminuição da trinca asfáltica, aumento da aderência e considerável redução dos ruídos oriundos do tráfego de veículos.

REFERÊNCIAS

BERNUCCI, L. B.; et al. **Pavimentação asfáltica**, Formação básica para engenheiros. 3ª Reimpressão, Petrobras: Abeda, Rio de Janeiro: 2010.

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

CATAPRETA, C. A. A.; ZAMBIASI, C. A.; LOYOLA, L. A. de J.; **O uso da borracha de pneus na pavimentação como alternativa ecologicamente viável**. VII Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. Campina Grande. 2016.

CERATTI, J. A.; RUWER, P. M.; OLIVEIRA, J. A. **Estudo do comportamento mecânico de concreto asfáltico com ligante modificado com polímeros**. In: Encontro do Asfalto, 13o. Rio de Janeiro. Anais... p. 290-303. 1996.

CLARO NETO, S.; - **Aproveitamento da borracha de pneus inservíveis na produção de componentes para construção**. In: Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia em Resíduos e Desenvolvimento Sustentável. Florianópolis, 2004. Disponível em: <<https://www.ipen.br/biblioteca/cd/ictr/2004/ARQUIVOS%20PDF/14/14-024.pdf>>. Acesso em 15nov 2018.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução CONAMA nº 416, de 30 de setembro de 2009**. Dispõe sobre a prevenção à degradação ambiental causada por pneus inservíveis e sua destinação ambientalmente adequada, e dá outras providências. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=616>> . Acesso em: 22 mai. 2019.

CRUZ, C; RIBEIRO, U. **Metodologia científica: teoria e prática**. 2. Ed. Rio de Janeiro: Axcel Books, 2004.

FERRARI, J. S.; RIBEIRO, L. C. R.; OLIVEIRA, P.C. **Potencial de Utilização de Pneus Usados em Pavimentação Asfálticas no Brasil**. Brasília, Universidade de Brasília – UnB, 2007.

G1 GLOBO. **Elói Mendes usa pneus velhos para drenagem pluvial na zona rural**. Disponível em: <<http://g1.globo.com/mg/sul-de-minas/noticia/2015/07/eloi-mendes-usa-pneus-velhos-para-drenagem-pluvial-na-zona-rural.html>>. Acesso em: 22 mai. 2019. ¹

G1 GLOBO. **Ponto de recolhimento de pneus velhos e montado em Petrolina - PE**. Disponível em: <<http://g1.globo.com/pe/petrolina-regiao/noticia/2016/02/ponto-de-recolhimento-de-pneus-velhos-e-montado-em-petrolina-pe.html>>. Acesso em: 22 mai. 2019. ²

GARDIN, J. A. C.; FIGUEIRÓ, P. S.; NASCIMENTO, L. F. Logística Reversa de Pneus Inservíveis: discussões sobre três alternativas de reciclagem para este passivo ambiental. **Revista Gestão e Planejamento**, Salvador, v. 11, n. 2, p. 232-249, jul./dez. 2010.

GIL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 5ª ed. São Paulo: Atlas, 2010.

GRECA ASFALTOS 2012 - **Historia do Asfalto-borracha no Brasil**. Disponível em: <<http://www.asfaltoborracha.com.br/index.php/1-art-historia-asfalto-borracha-brasil>>. Acesso em 20 nov. 2018.

LEITE, L. F. M. **Estudo de preparo e caracterização de asfaltos modificados por polímeros**. Rio de Janeiro, 1999. Tese (Doutorado em Ciências) – UFRJ.

MARTINS, H. A. F. **A Utilização Da Borracha De Pneus Na Pavimentação Asfáltica**. 2004. Trabalho de Conclusão de Curso Universidade Anhembí Morumbi no âmbito do Curso de Engenharia Civil com ênfase Ambiental. São Paulo. Disponível em: < <https://docplayer.com.br/7384847-A-utilizacao-da-borracha-de-pneus-na-pavimentacao-asfaltica.html>>. Acesso em: 22 mai. 2019.

MORAIS, N.S. **Desenvolvimento Sustentável: reciclagem de pneus**. Cuiabá, 2009.

ODA, S.; FERNANDES JÚNIOR, J. L. **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. Disponível em: <<http://ojs.uem.br/ojs/index.php/ActaSciTechnol/article/download/2804/1855>>.

PAULA, P. R. **Responsabilidade ambiental no Brasil: o destino final que é dado aos pneus usados**. São Paulo: Uninove, 2004 (Monografia de conclusão de curso de graduação em administração).

PENSAMENTO VERDE. **As vantagens do asfalto ecológico**. Disponível em: <<https://www.pensamentoverde.com.br/sustentabilidade/as-vantagens-do-asfalto-ecologico/>>. Acesso em: 22 mai. 2019.

RAMALHO, A. V. F.; **Uma análise dos benefícios com a utilização do asfalto borracha nas Rodovias do Brasil**. 2009. 77 f. Dissertação (Tecnólogo em Logística) – Faculdade de Tecnologia da Zona Leste, São Paulo. 2009. Disponível em: <<http://www.poslogistica.com/web/TCC/2009-2/tcc-214.pdf>>. Acesso em 15 nov. 2018.

SALINI, R. B. **Utilização de Borracha Reciclada de Pneus em Misturas asfálticas**. 200. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal da Santa Catarina. Florianópolis, 2000.

SANTOS, D. X. D.; SILVA, Fernanda Rosante Da; BERTEQUINI, Aline Botini Tavares. **Utilização do asfalto borracha em relação ao asfalto convencional**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, p. 73, jun.

2012. Disponível em: <<http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/750>>. Acesso em: 22 mai. 2019.

SANTOS, H. F. D. et al. **Reuso de inservíveis como uma das formas de redução no impacto ambiental: estudo de caso realizado em uma empresa de recauchutagem de pneus.** XXXI encontro nacional de engenharia de produção. Inovação tecnológica e Propriedade Intelectual: Desafios da Engenharia de Produção na Consolidação do Brasil no Cenário Econômico Mundial, Belo Horizonte, out. 2011. Disponível em: <<https://www.acervo.ufs.br/bitstream/riufs/8629/2/ReusoInserviveisImpactoAmbienta.pdf>>. Acesso em: 22 mai. 2019.

SILVA L. S., et al. **Utilização do ensaio de inchamento na seleção de polímeros como modificadores asfálticos.** 6º Congresso Brasileiro de Polímeros. Anais... 2001.

SILVA, A.F; ALVARENGA, M.I.N; MELLONI, R.;MELLONI, E.G.P. **Legislação aplicada à recuperação de áreas degradadas.** Revista Informe Agropecuário, Belo horizonte – MG, 2008, nº24.

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.