

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DE FORMIGA – UNIFOR-MG
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL
SAMUEL GLUECK VAZ**

UTILIZAÇÃO DE PNEU INSERVÍVEL NA CONSTRUÇÃO CIVIL

**FORMIGA – MG
2018**

SAMUEL GLUECK VAZ

UTILIZAÇÃO DE PNEU INSERVÍVEL NA CONSTRUÇÃO CIVIL

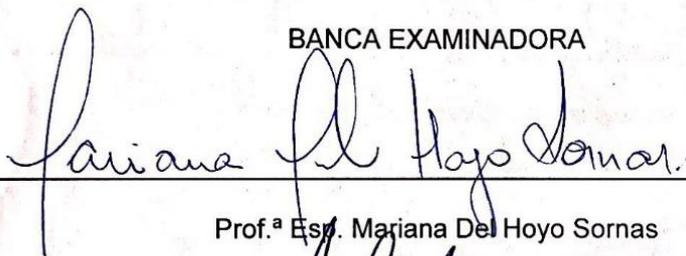
FORMIGA – MG
2018

SAMUEL GLUECK VAZ

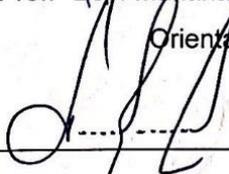
UTILIZAÇÃO DE PNEU INSERVÍVEL NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao curso de Engenharia
Civil do UNIFORMG, como requisito
para obtenção do título de bacharel em
Engenharia Civil.

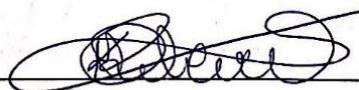
BANCA EXAMINADORA



Prof.^a Esp. Mariana Del Hoyo Sornas
Orientadora



Fábio de Castro Rezende
Engenheiro Civil



Prof.^a Dra. Kátia Daniela Ribeiro
UNIFOR-MG

Formiga, 31 de outubro de 2018.

AGRADECIMENTO

Agradeço primeiramente a Deus por mais uma conquista em minha vida, por ter me amparado, cuidado e me guiado por toda essa trajetória.

Aos meus pais, Dalmi e Maria Lúcia, que me ensinaram a ser persistente e lutar sempre pelos meus objetivos.

A Prof.^a Esp. Mariana Del Hoyo Sornas, pela dedicação, atenção, competência e boa orientação durante este trabalho.

A todos os professores, pela sabedoria e o dom de compartilhar os seus conhecimentos durante minha formação acadêmica.

A todos meus amigos, que junto a mim, vivenciaram e compartilharam momentos tão importantes em minha vida.

RESUMO

O presente trabalho avalia a técnica de adição de resíduo de borracha de pneu inservível oriundo do processo de trituração do mesmo, demonstrando a viabilidade de seu aproveitamento em diferentes utilizações, com o intuito de apresentar uma maneira de contribuir com a conservação de fontes naturais de matéria primas e também com a preservação do meio ambiente com uma destinação ecologicamente correta de um resíduo que causa enorme impacto ambiental. O uso do resíduo do pneu inservível no concreto tem sido material de estudo para muitos pesquisadores, pois se fundamenta como uma alternativa interessante tanto para a preservação das fontes naturais de matérias primas, como já foi dito anteriormente, mas também para a descoberta de novas tecnologias. A substituição do agregado miúdo da composição do concreto pelo resíduo de pneu resulta na mudança das propriedades do concreto que são favoráveis para certas aplicações que exigem características exclusivas como capacidade de deformação e resistência. Outro ponto no qual a utilização se mostra eficiente é na mistura asfáltica na qual se consegue melhorar as propriedades do asfalto dando uma melhor vida útil.

Palavras-chave:Borracha. Concreto. Asfalto.

ABSTRACT

The present work evaluates the technique of adding rubber waste from waste tire from the crushing process, demonstrating the feasibility of its use in different uses, in order to present a way to contribute to the conservation of natural sources of matter raw materials and also with the preservation of the environment with an ecologically correct destination of a waste that causes enormous environmental impact. The use of unserviceable tire residue in concrete has been a study material for many researchers because it is based as an interesting alternative both for the preservation of natural sources of raw materials as previously mentioned, but also for the discovery of new technologies. The replacement of the small aggregate of the concrete composition with the tire residue results in the change of concrete properties that are favorable for certain applications that require unique characteristics such as deformation capacity and strength. Another point in which the use proves efficient is in the asphalt mixture in which one can improve the properties of the asphalt giving a better life.

Keywords: Eraser. Concreto.Asfalto.

.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANIP - Associação Nacional de Indústria de Pneumáticos
BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CAUQ - Concreto Asfáltico Usinado a Quente
CENPES - Centro de Pesquisas da Petrobrás
CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente
CTF – Cadastro Técnico Federal
DNER – Departamento Nacional de Estrada de Rodagem
IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente
NBR - Norma Brasileira Regulamentadora
NCM - Nomenclatura Comum do Mercosul
SENAT – Serviço Nacional de Aprendizagem do Transporte
SEST – Serviço Social do Transporte
UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina

LISTA DE SÍMBOLOS E UNIDADES

% - Porcentagem

° - Ângulo

°C - Graus celsius

kg/m³ - Quilograma força por metro cubico

Km – Quilômetros

m² - Metro quadrado

mm - Milímetros

MPa - Megapascal

pH- Potencial hidrogeniônico

ϕ = Ângulo de atrito

γ = Peso específico

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Pneu.....	19
Figura 2- Estrutura de um pneu.....	21
Figura 3- Quadro de pneus a serem descartados conforme a resolução CONAMA 258/99.....	24
Figura 4- Pneus inservíveis dispostos a céu aberto	26
Figura 5- Queima de pneus em depósito a céu aberto	27
Figura 6- Triturador de pneus de borracha.....	29
Figura 7- Raspas de pneu inservível	30
Figura 8- Rodovia Brasileira	31
Figura 9- Seção transversal de um pavimento	33
Figura 10- Aplicação da massa e execução da emenda longitudinal.....	34
Figura 11- Compactação com o rolo liso	35
Figura 12- Corpos de prova do concreto com adição de resíduo de pneu	39
Figura 13- Moldagem de blocos	43
Figura 14- Muro de contenção de encosta utilizando pneu inservível.....	44
Figura 15- Arranjo de um muro de arrimo	45
Figura 16- Placas submetidas ao teste de tráfego	49

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Composição química de um pneu-----	20
Quadro 2 – Relação porcentagem de resíduo de pneu x Resistência a compressão-----	50
Quadro 3 – Teste de compressão-----	51
Quadro 4– Porcentagem de resíduo x absorção de água-----	51
Quadro 5– Porcentagem de absorção de água-----	52

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Composição de pneus radiais para automóveis-----	22
Gráfico 2 - Produção nacional de pneus (milhões de unidades) -----	25
Gráfico 3 - Custo de execução dos asfaltos-----	36
Gráfico 4 – Custo de manutenção-----	37
Gráfico 5 – Custo de execução e manutenção-----	38
Gráfico 6 – Diminuição da deflexão em relação a adição de resíduo de pneu-	48
Gráfico 7– Diferença de custos dos muros de contenção-----	53

Sumário

1-INTRODUÇÃO	14
2-OBJETIVOS	16
2.1-Objetivo geral.	16
2.2-Objetivos específicos.....	16
3-JUSTIFICATIVA	17
4-REFERENCIAL TEÓRICO	18
4.1- HISTÓRIA DO PNEU	18
4.2-GENERALIDADES DO PNEU	18
4.3- COMPOSIÇÃO DO PNEU.....	19
4.4-CONSTITUINTES ESTRUTURAIS DO PNEU	21
4.5-CLASSIFICAÇÃO DO PNEU.....	22
4.6-LEGISLAÇÃO BRASILEIRA	23
4.7-DESCARTE INADEQUADO DO PNEU	25
4.8-PROBLEMAS CAUSADOS PELO DESCARTE DE PNEU INSERVÍVEL.....	26
4.9-PROCESSAMENTO DO PNEU INSERVÍVEL PARA A UTILIZAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	28
4.9.1-PROCESSO MECÂNICO	28
4.9.2-PROCESSO CRIOGÊNICO.....	29
4.10- APLICAÇÕES DO PNEU INSERVÍVEL NA CONSTRUÇÃO CIVIL	30
4.11-PAVIMENTAÇÃO DE RODOVIA.....	31
4.11.1-PROCESSAMENTO DO PNEU INSERVÍVEL NA COMPOSIÇÃO DO ASFALTO.....	33
4.11.2-CUSTO DO ASFALTO BORRACHA.....	35
4.12- CONCRETO COM ADIÇÃO DE BORRACHA DE PNEU.....	38
4.12.1- BLOCOS DE CONCRETO.....	40
4.12.1.1-BLOCOS INTERTRAVADOS	40
4.12.1.1.1-UTILIZAÇÃO DOS PNEUS INSERVÍVEIS NA PRODUÇÃO DE BLOCOS INTERTRAVADOS	42
4.12.1.1.2-BLOCOS ESTRUTURAIS	42
4.12.1.1.2.1- UTILIZAÇÃO DOS PNEUS INSERVÍVEIS NA PRODUÇÃO DE BLOCOS ESTRUTURAIS.....	43
4.13 –MUROS DE CONTENÇÃO DE PNEU INSERVÍVEL.....	44
4.13.1-UTILIZAÇÃO DO PNEU INSERVÍVEL EM MUROS DE CONTENÇÃO.....	45
5- METODOLOGIA	47

6- RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
6.1-PAVIMENTAÇÃO DE RODOVIAS	48
6.2-CONCRETO	50
6.3-MUROS DE CONTENÇÃO.....	52
7- CONCLUSÃO	54
REFERENCIA BIBLIOGRAFICA	55

1 INTRODUÇÃO

A reciclagem de resíduos industriais tornou-se imprescindível, pois, com o crescimento da população tem-se um maior consumo de produtos industrializados, que na maioria das vezes são descartados de forma inadequada. Hoje há uma grande preocupação com a necessidade de preservação do meio ambiente, com a redução do consumo de energia e também com a redução dos custos na fabricação de novos produtos. Por isso há um forte movimento com enorme interesse na busca do aproveitamento de materiais descartados de maneira imprópria no meio ambiente, a fim de se chegar a produção de produtos sustentáveis.

Um dos grandes causadores de impactos ambientais são os chamados resíduos sólidos, e o pneu usado é um deles. Os pneus usados quando perdem suas condições de utilização nos automóveis, não podendo mais serem recauchutados, passam a ser denominados como inservíveis e então eles se tornam um resíduo indesejável, perigoso, visto que não são biodegradáveis e com tempo de decomposição de centenas de anos, ao serem incinerados produzem fumaça intensamente tóxica de difícil dissipação e com o agravante de serem um problema mundial, pois seu descarte cresce a cada ano, gerando sérios problemas ambientais, econômicos e sociais.

Conforme a Associação Nacional de Indústria de Pneumáticos (ANIP), no Brasil são colocados no mercado aproximadamente 61 milhões de pneus por ano, sendo que cerca de 38 milhões são resultados da produção nacional e 23 milhões são pneus reaproveitados (usados, importados e recauchutados) (Geipot, 2000).

Segundo o SEST SENAT(2017) no Brasil pelo menos 450 mil toneladas de pneus são descartados por ano. Isso equivale a cerca de 90 milhões de unidades utilizadas em carros de passeio sendo que eles demoram 600 anos para se decomporem na natureza e podem, inclusive, se tornar criadouros do mosquito *Aedes Aegypti*, transmissor da dengue, da zika e da chikungunya.

De acordo com dados da Reciclanip (2017), em dez anos, o descarte correto desse tipo de material evitou que mais de 3,7 milhões de toneladas de pneus fossem parar em lugares errados. A Reciclanip é uma entidade que reúne as maiores fabricantes desse produto no Brasil. Ela organiza a

chamada logística reversa, ou seja, o recolhimento de pneus inutilizáveis e destinação correta. A prática é obrigatória em razão de normas ambientais que estabelecem que as empresas são obrigadas a recolher, pelo menos, 70 quilos de pneus velhos para cada 100 quilos que são colocados à venda ao consumidor no mercado doméstico (SEST SENAT, 2017).

Atitudes de reciclagens de pneus vêm sendo realizadas como alternativas de diminuir seu descarte, reduzindo desta forma os impactos ambientais, os pneus quando reciclados, podem ser utilizados na fabricação de blocos, na composição do asfalto e também inteiros como muro de contenção.

Este trabalho tem o intuito de se pesquisar e estudar novas formas de se utilizar este resíduo de pneu em novos agregados de produtos para a construção civil, através de revisão bibliográfica verificando os resultados obtidos nos estudos apontados se é eficaz ou não a sua utilização deste tipo de resíduo nas formas de citadas de utilização.

2 OBJETIVOS

Este tópico tem por finalidade descrever os objetivos contidos nesta revisão bibliográfica, sendo eles objetivo geral e os objetivos específicos conforme apresentados a seguir.

2.1 Objetivo geral.

O objetivo geral desta revisão bibliográfica é demonstrar as possibilidades da utilização de pneus inservíveis na construção civil, visando assim diminuir o resíduo gerado causado pelo descarte inadequado desse produto e demonstrar novos produtos para o mercado da construção civil, mostrando a sua viabilidade ou não.

2.2 Objetivos específicos.

Como objetivos específicos desta revisão bibliográfica, propõe-se:

- Demonstrar como o pneu inservível pode ser utilizado na construção civil.
- Apresentar processos para a utilização na construção civil.
- Vantagens ou desvantagens da utilização deste material na construção.

3 JUSTIFICATIVA

Com o crescimento do índice de urbanização nas últimas décadas, aumentaram-se os estudos na área da construção civil, expandindo grandiosamente pesquisas sobre os materiais e as tecnologias aplicadas na execução de projetos civis. Hoje, o auge é a utilização de alguns resíduos na produção de concreto.

Neste trabalho,propõe-se avaliarresultados através de pesquisas bibliográficas a viabilidade da utilização do resíduo de pneu inservível, na substituição do agregado miúdo natural da composição do concreto, na utilização na elaboração do asfalto borracha e na construção dos muros de contenção, devido a grande geração e acúmulo desse resíduo existente no mundo todo nos tempos atuais, o que irá preservar as fontes naturais de matérias primas e reutilizar materiais que seriam descartados causando enormes transtornos ao meio ambiente. De forma a identificar a viabilidade da utilização do resíduo de pneu inservível conferindo sua resistência e segurança.

4 REVISÃO BIBLIOGRAFICA

Nos tópicos a seguir, serão abordados os temas mais relevantes utilizados para elaboração do presente trabalho, através do embasamento teórico obtido por meio de consultas bibliográficas diversas em diversos formatos de mídias, tais como trabalhos de conclusão de curso, dissertações de mestrado, artigos acadêmicos, teses de doutorado, livros, revistas, informações obtidas junto a órgãos públicos e privados.

4.1 HISTÓRIA DO PNEU

Segundo Granzotto(2010), no século XIX o norte-americano Charles Goodyear descobriu o processo de vulcanização da borracha, quando por acidente deixou cair enxofre na mistura que estava no fogão, em meados de 1888, John Dunlop utilizou este produto para revestir rodas de bicicleta.

Segundo Andrietta(2011), após a descoberta, os pneus foram produzidos em grande escala para veículos automotores terrestres como: automóveis, caminhões, utilitários, máquinas agrícolas, motocicletas entre outros, criando assim o maior conjunto industrial do planeta no qual o produto era destinado para veículos novos ou para à reposição da frota em circulação.

4.2 GENERALIDADES DO PNEU

“O pneumático, simplesmente denominado de pneu (Fig. 1), é um tubo de borracha cheio de ar e ajustado ao aro da roda do veículo, permitindo a tração do veículo e, ao mesmo tempo, absorvendo os choques com o solo sobre o qual o veículo trafega” (ANDRIETTA, 2011).

Figura 1- Pneu



Fonte: Pneu Zetum, 2018.

Eles ainda podem ser classificados de acordo com sua carcaça em dois grupos: radiais e convencionais (ou diagonais). Grandes partes dos pneus utilizados em carros e caminhões são os radiais porque “aliado aos reforços estruturais e novos desenhos da banda de rodagem oferecem maior resistência, durabilidade, aderência e estabilidade que os convencionais”. Em função disso, mesmo com um custo superior ao tradicional, os pneus radiais representam 97% da produção mundial de pneus de passeio, e 45% de participação na produção de pneus de caminhões e ônibus (BNDES, 1998).

O ciclo de vida útil do pneu tradicional é composto, geralmente, de cinco etapas principais, compreendidas pela extração das matérias-primas, produção, consumo (uso), coleta de pneus usados e, posteriormente, gestão de resíduos gerados por esses pneus, observando-se que essa configuração depende das condições locais de cada país ou região para onde são produzidos ou vendidos (MELLONE; SANTOS; SHIBAO, 2013 apud JANSSEN, 2001).

4.3 COMPOSIÇÃO DO PNEU

A composição química da borracha de pneu é basicamente composta por polímero elastomérico que foi submetido a diversos processos

termoquímicos até adquirir as características desejáveis de resistência e durabilidade requerida para sua aplicação final, uma característica obrigatória para um comportamento elastomérico é que a estrutura molecular seja provida de ligações cruzadas, onde esse processo de formação de ligações cruzadas nos elastômeros que formam a borracha é conhecido como vulcanização, tratamento através do qual compostos de enxofres se ligam com as cadeias principais do polímero que se encontram adjacentes, formando pontes entre elas (ALBUQUERQUE, 2009).

Segundo Albuquerque (2009), o processo de vulcanização aumenta a elasticidade, resistência a tração, à abrasão e à degradação pela oxidação.

O pneu é formado por diversos materiais como: estrutura em aço, náilon, fibra de aramid, rayon, fibra de vidro e/ou poliéster; borracha natural e sintética, incorporando aí centenas de tipos diferentes de polímeros; reforçadores químicos (Quadro 1), como carbono preto, sílica e resinas; antidegradantes (ceras de parafina antioxidantes e inibidoras da ação do gás ozônio); promotores de adesão (sais de cobalto, banhos metálicos nos arames e resinas); agentes de cura (aceleradores de cura, ativadores, enxofre) e produtos auxiliares, no processamento dos pneus, como óleos. (PIRELLI BRASIL, 2000).

Quadro 1 - Composição química de um pneu

Elemento Composto	%
Carbono	70,0
Hidrogênio	7,0
Óxidos de Zinco	1,2
Enxofre	1,3
Ferro	15,0
Outros	5,5

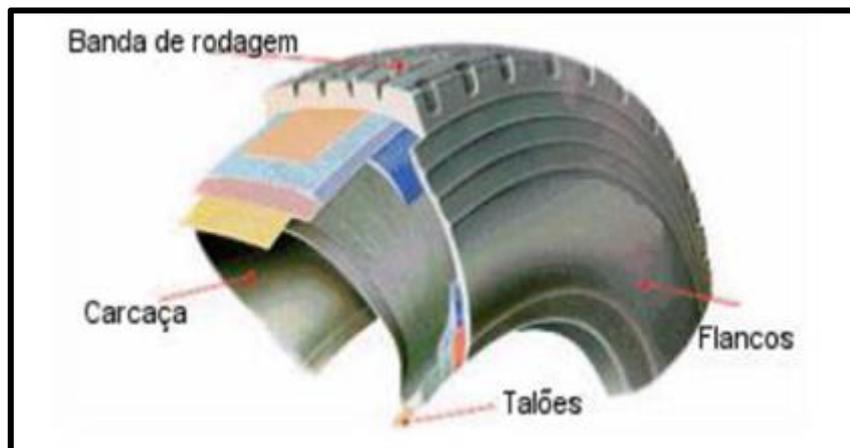
Fonte: Carvalho, 2007.

Segundo Novick e Martignoni (2000), devido as más qualidades das rodovias brasileiras, exige-se com que os pneus sejam produzidos para uma maior resistência e uma boa durabilidade, no qual são produzidos através de uma estrutura complexa, projetados para serem quase indestrutíveis; eles se tornam inservíveis após o rompimento da lona, tornando a recauchutagem impossível.

4.4 CONSTITUINTES ESTRUTURAIS DO PNEU.

Segundo o BNDES (1998), os pneus (Fig. 2) são constituídos das seguintes partes:carcaça, talão, flancos e banda de rodagem.

Figura 2- Estrutura de um pneu



Fonte:Fioriti, 2007.

-Carcaça: é a estrutura interna do pneu, com função de reter o ar sob pressão e suportar o peso do veículo. A carcaça é constituída por lonas de nylon, aço ou poliéster, dispostas no sentido diagonal, umas das outras, nos pneus convencionais e radialmente nos pneus radiais. Nos pneus radiais é adicionada uma série de lonas, que cobrem a carcaça, denominada cintura, que estabilizam a carcaça radial. As lonas para pneus de carga (caminhões e ônibus) são sempre de aço.

- Talão: possui a forma de um anel, sua finalidade é manter o pneu acoplado firmemente ao aro, impedindo o vazamento do ar. É constituído por diversos arames de aço de alta resistência, unidos e recobertos por borracha.

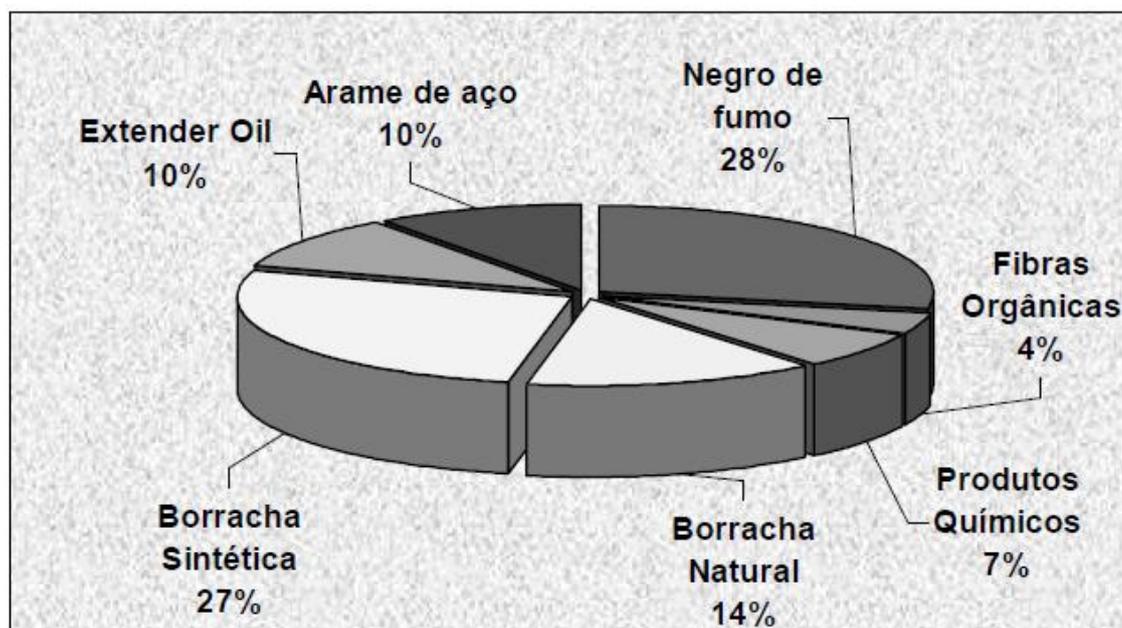
- Flancos: constituem a parte lateral do pneu, a fim de proteger a carcaça contra os agentes externos. São constituídos por borrachas com alto grau de flexibilidade.

- Banda de Rodagem: é a parte do pneu que entra diretamente em contato com o solo. É feita por um composto de borracha com alta resistência

ao desgaste, além disso, seus desenhos constituídos por partes cheias (biscoitos) e vazias (sulcos) proporcionam aderência, tração, estabilidade e segurança do veículo.

De acordo com pesquisas realizadas pelo BNDES (1998), os percentuais de materiais utilizados na composição de um pneu radial estão apresentadas no graf.1.

Gráfico 1 – Composição de pneus radiais para automóveis



Fonte: BNDES, 1998.

4.5 CLASSIFICAÇÃO DO PNEU

Para que haja um melhor entendimento do trabalho, será descrito algumas definições em relação aos pneumáticos de acordo com a Resolução CONAMA Nº 416/2009. São elas:

-Pneu ou pneumático: componente de um sistema de rodagem, constituído de elastômeros, produtos têxteis, aço e outros materiais que quando montado em uma roda de veículo e contendo fluido(s) sobre pressão, transmite tração dada a sua aderência ao solo, sustenta elasticamente a carga do veículo e resiste à pressão provocada pela reação do solo.

- Pneu novo: pneu, de qualquer origem, que não sofreu qualquer uso, nem foi submetido a qualquer tipo de reforma e não apresenta sinais de envelhecimento nem deteriorações, classificado na posição 40.11 da Nomenclatura Comum do Mercosul – NCM.

- Pneu usado: pneu que foi submetido a qualquer tipo de uso e/ou desgaste, classificado na posição 40.12 da NCM, englobando os pneus reformados e os inservíveis.

- Pneu reformado: pneu usado que foi submetido a processo de reutilização da carcaça com o fim específico de aumentar sua vida útil.

- Pneu inservível: pneu usado que apresente danos irreparáveis em sua estrutura não se prestando mais à rodagem ou à reforma.

- Destinação ambientalmente adequada de pneus inservíveis: procedimentos técnicos em que os pneus são descaracterizados de sua forma inicial, e que seus elementos constituintes são reaproveitados, reciclados ou processados por outra(s) técnica(s) admitida(s) pelos órgãos ambientais competentes, observando a legislação vigente e normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança, e a minimizar os impactos ambientais adversos.

-Ponto de coleta:local definido pelos fabricantes e importadores de pneus para receber e armazenar provisoriamente os pneus inservíveis.

4.6 LEGISLAÇÃO BRASILEIRA

Sendo de responsabilidade do CONAMA (1999), a edição de normas, a respeito da questão dos pneumáticos inservíveis, em 26 de agosto de 1999 foi publicada a RESOLUÇÃO CONAMA 258/99 que trata deste assunto, sendo complementada pela RESOLUÇÃO CONAMA 301/02, tratando da destinação final deste resíduo sólido. As duas resoluções foram regulamentadas pela Instrução Normativa nº 8/02 do IBAMA.

A instrução normativa nº08/02 do IBAMA institui os procedimentos que devem ser adotados pelos responsáveis para o cumprimento da Resolução CONAMA 258/99, trata de questões quanto ao cadastramento, processadores, destinadores e destinação final ambientalmente correta; e, determina as

respectivas equivalências em peso de pneus para bicicletas e veículos automotores (BRASIL, 2002).

Em 1999, foi publicada a resolução do CONAMA (Fig. 3), na qual foi introduzido o princípio da responsabilidade do produtor e do importador pela destinação final ambientalmente adequada de pneus, tendo como base, para a quantidade para a destinação, o volume de pneus fabricados ou importados no mercado doméstico (MOTTA, 2008).

Figura 3-Quadro de pneus a serem descartados conforme a resolução CONAMA 258/99

CONAMA 258/99	
Data	Destinação Final
A partir de 1º de janeiro de 2002:	Para cada quatro pneus novos fabricados no País ou pneus importados, novos ou reformados, inclusive aqueles que acompanham os veículos importados, as empresas fabricantes e as importadoras deverão dar destinação final a um pneu inservível;
A partir de 1º de janeiro de 2003:	Para cada dois pneus novos fabricados no País ou pneus importados, novos ou reformados, inclusive aqueles que acompanham os veículos importados, as empresas fabricantes e as importadoras deverão dar destinação final a um pneu inservível;
A partir de 1º de janeiro de 2004:	a) para cada um pneu novo fabricado no País ou pneu novo importado, inclusive aqueles que acompanham os veículos importados, as empresas fabricantes e as importadoras deverão dar destinação final a um pneu inservível; b) para cada quatro pneus reformados importados, de qualquer tipo, as empresas importadoras deverão dar destinação final a cinco pneus inservíveis;
A partir de 1º de janeiro de 2005:	a) para cada quatro pneus novos fabricados no País ou pneus novos importados, inclusive aqueles que acompanham os veículos importados, as empresas fabricantes e as importadoras deverão dar destinação final a cinco pneus inservíveis; b) para cada três pneus reformados importados, de qualquer tipo, as empresas importadoras deverão dar destinação final a quatro pneus inservíveis.

Fonte: CONAMA, 1999.

Para garantir que a resolução 258/99 seja cumprida o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente (IBAMA) instituiu a Instrução Normativa nº 08 de 15 de Maio de 2002, onde todos os destinadores de pneus inservíveis, devem estar inscritos no Cadastro Técnico Federal (CTF), e através de relatórios de

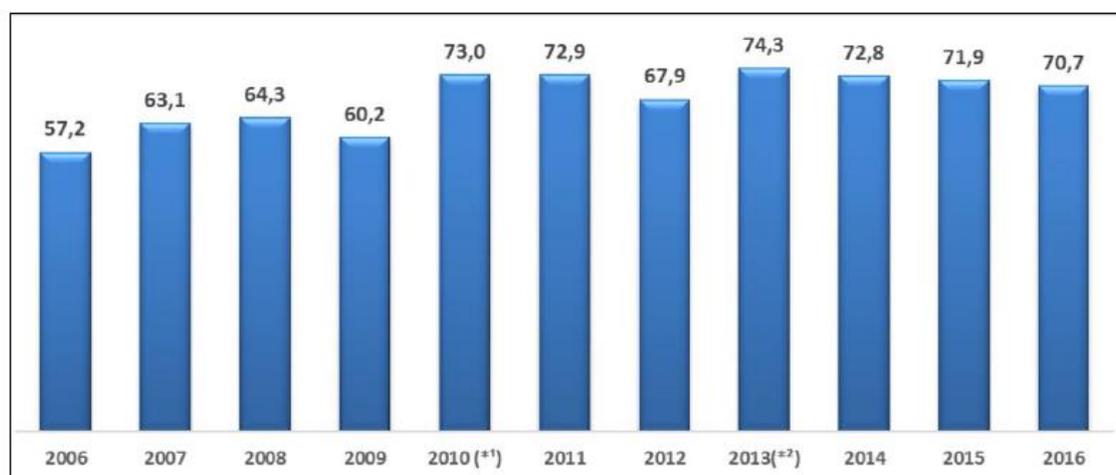
atividades devem comprovar a destinação e gerenciamento ambiental correto dos pneus inservíveis.

4.7 DESCARTE INADEQUADO DO PNEU

O excessivo número de pneus usados e descartados representa um problema mundial que está diretamente relacionado à crescente frota de veículos de cada país. Entretanto, a magnitude do efeito ambiental causado por milhões de pneus inservíveis gerados todos os anos não é facilmente percebida, mesmo com o crescimento incessante da frota automobilística mundial, embora os danos causados pelo descarte inadequado dos pneus impliquem em enchentes, entupimento de redes de esgoto, poluição de mananciais e geração de doenças. (GRIBELER, 2010).

Segundo a ANIP (2016), somente no Brasil em 2016 foram produzidos mais de 70 milhões de pneus, sendo 63,4% para reposição, 18,5 para exportação e 18,1% para as montadoras, conforme o graf.2.

Gráfico 2 - Produção nacional de pneus (milhões de unidades)



Fonte: ANIP, 2016.

Notas: (*1) Nova associada: Continental.

(*2) Nova associada: Sumitomo.

Os pneus são constituídos por estruturas difíceis de serem eliminadas naturalmente, na grande maioria das vezes este material é abandonado em locais impróprios, causando conseqüentemente danos à saúde e

principalmente ao meio ambiente, este material tem um longo período de degradação, aproximadamente de 400 a 800 anos, tornando-se assim um grande problema para o meio ambiente, conforme a fig.4(GRANZOTTO, 2010).

Figura 4- Pneus inservíveis dispostos a céu aberto



Fonte: Ramos, 2005.

A primeira alternativa para a destinação do pneu usado é a recauchutagem, mas quando isto não é mais possível, então é feita a remoldagem; Contudo, se as condições do pneu utilizado não permitirem nenhuma das alternativas anteriores, então ele passa a ser considerado inservível (RIBEIRO, 2005).

4.8 PROBLEMAS CAUSADOS PELO DESCARTE DE PNEU INSERVIVEL

Segundo Gribeler (2010), os pneus inservíveis mesmo quando enterrados em aterros sanitários, tendem a voltar a superfície; Este comportamento pode causar dano flutuante, no qual expõem a área abrangente a gases tóxicos e fumaça da deposição do aterro, na superfície, pneus inservíveis atraem roedores portadores de doenças e mosquitos que se reproduzem na água parada da chuva acumulada no interior dos pneus.

De acordo com Andrietta (2002), além da liberação de substâncias tóxicas na atmosfera também sofremos outras ameaças do descarte inadequado do pneu, como a contaminação do lençol freático, o alto risco de incêndios que em grande escala é de difícil controle, lançando para a atmosfera fumaças intensamente tóxicas. Um pneu comum de automóvel contém o equivalente a 10 litros de óleo combustível (ANDRIETTA, 2011).

A queima de pneus (Fig.5) sem o tratamento adequado, também pode ser uma grande ameaça, com a liberação do óleo pirolítico, que pode viajar longas distâncias, contaminando solo e água, além de penetrar em lençóis freáticos; Estudos demonstram que a contaminação dessas águas causada pelo escoamento de derivado da queima de pneus pode durar até 100 anos; Em combustão, o pneu emite também fumaça tóxica, que pode representar riscos de mortalidade prematura, deterioração das funções pulmonares, problemas do coração, depressão do sistema nervoso e central (ANDRIETTA, 2002).

Figura 5- Queima de pneus em depósito a céu aberto



Fonte: Chapi Consultoria & Serviços, 2013.

4.9 PROCESSAMENTO DO PNEU INSERVÍVEL PARA A UTILIZAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Segundo Marques (2005), pelos processos de trituração, moagem e peneiramento obtém-se várias granulometrias da borracha dos pneus inservíveis, no qual esses processos tem por função de separar a matéria prima das impurezas que são os fios de nylon e o aço.

Os processos mais utilizados para a trituração de pneus são à temperatura ambiente, também conhecido como processo mecânico ou com resfriamento criogênico, no Brasil o processo mais utilizado é a trituração à temperatura ambiente (LAGARINHOS; TENÓRIO, 2008).

De acordo com Bonente (2005), os materiais separados da borracha na trituração tem outras utilizações, como o aço retirado da banda de rodagem dos pneus radiais é utilizado na indústria siderúrgica e os fios de nylon são utilizados no reforços em embalagens de papelão.

4.9.1 PROCESSO MECÂNICO

O processo trituração à temperatura ambiente (fig.6) é aquele que pode operar a temperatura máxima de 120 °C, reduzindo os pneus inservíveis a partículas de tamanhos finais de até 0,2 mm. Este processo tem alto custo de manutenção e alto consumo de eletricidade. Nesse processo os pneus passam pelo triturador e pelo granulador. No triturador ocorre uma redução dos pneus inteiros em pedaços de 50,8 a 203,2 mm. Após a etapa de trituração os pedaços de pneus são alimentados através de um sistema transportador de correias no granulador, para a redução de pedaços de 10 mm, dependendo do tipo de rosca montada no granulador. O aço é removido em um separador magnético de correias cruzadas e as frações de nylon, rayon e poliéster, são removidas pelos coletores de pó. O pó-de-borracha é separado através de um sistema de roscas e peneiras vibratórias em várias granulometrias, muitas aplicações são solicitadas para materiais finos, na faixa de 0,6 a 2 mm (LAGARINHOS; TENÓRIO, 2008).

Figura 6- Triturador de pneus de borracha



Fonte: Grupo Fragmaq (2013).

4.9.2 PROCESSO CRIOGÊNICO

O processo criogênico é um processo que resfria os pneus inservíveis a uma temperatura abaixo de menos 120 °C, utilizando nitrogênio líquido; Neste processo os pedaços de pneus de 50,8 mm são resfriados em um túnel contínuo de refrigeração e logo após são lançados em um granulador; No granulador os pedaços são triturados em um grande número de tamanhos de partículas, enquanto, ocorre ao mesmo tempo, a liberação das fibras de nylon, rayon e poliéster e do aço; O granulado de borracha deve estar muito frio antes de sair do granulador, logo em seguida, o material é classificado; Este processo apresenta baixo custo de manutenção e consumo de energia, por outro lado, apresenta um alto custo operacional devido ao consumo do nitrogênio líquido; A operação de redução requer um baixo consumo de energia e as máquinas de trituração não são tão robustas quando comparadas com aquelas do processo de trituração à temperatura ambiente; Outra vantagem

deste processo é a fácil liberação do aço e das fibras de nylon, rayon e poliéster, obtendo um produto final limpo (LAGARINHOS; TENÓRIO, 2008).

Para as empresas incorporarem o processo criogênico na reciclagem dos pneumáticos inservíveis, devem enfrentar algumas restrições a respeito deste processo; Primeiro: apesar de ter um consumo menor de energia, o processo ainda depende do grande consumo de gases criogênicos (nitrogênio líquido), além de necessitarem de maquinários importados dos Estados Unidos, que tem um custo bastante elevado; Além disso, o granulado de borracha (Fig.7) gerado tem qualidade inferior daquele produzido através do processo mecânico (SALINI, 2000).

Figura 7- Raspas de pneu inservível



Fonte: Autor, 2018.

4.10 APLICAÇÕES DO PNEU INSERVÍVEL NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Segundo Kroth(2012),várias pesquisas vêm sendo feitas nos últimos anos para se criar novas alternativas para a utilização do pneu inservível na construção civil, alguns exemplos de utilização:

- Pavimentos de concreto;
- Utilização como paredes e coberturas, telhas de concreto, blocos de alvenaria e painéis de isolamento térmico e acústico;
- Emprego no envelopamento de dutos ou valas, confecção de passeios públicos, rodovias, pisos, revestimento e concretos de baixa exigência estrutural;
- Concreto para utilização em estacas de fundação tipo broca;
- Locais onde são exigidas maior resistência ao impacto e alta absorção de energia, como em barreiras de proteção, quebra mar, recifes, postes, elementos de sinalização de trânsito e outras aplicações;
- Aplicação em concreto de paredes de eclusas, visando maior absorção de impacto;
- Artefatos de concreto, como fossas sépticas, filtros anaeróbicos, canos para esgoto pluvial, bloquetes, meio-fio, tabelas para lajes pré-moldadas.

4.11 PAVIMENTAÇÃO DE RODOVIA

A NBR7207 (ABNT, 1982) define que pavimento é uma estrutura construída que após terraplenagem, é destinada, em seu conjunto, a resistir e distribuir ao subleito os esforços verticais produzidos pelo tráfego, melhorar as condições de rolamento quanto à comodidade e à segurança e resistir aos esforços horizontais que nela atuam, tornando mais durável a superfície de rolamento, conforme a fig.8.

Figura 8- Rodovia Brasileira



Fonte: Revista Greca Asfaltos, 2008.

De acordo com o DNER (1996), os materiais betuminosos comumente utilizados nos serviços de pavimentação são:

- a) Cimentos asfálticos de petróleo (CAP);
- b) Asfaltos diluídos;
- c) Asfaltos emulsionados;
- d) Asfaltos oxidados ou soprados;
- e) Agentes rejuvenescedores;
- f) Asfaltos modificados.

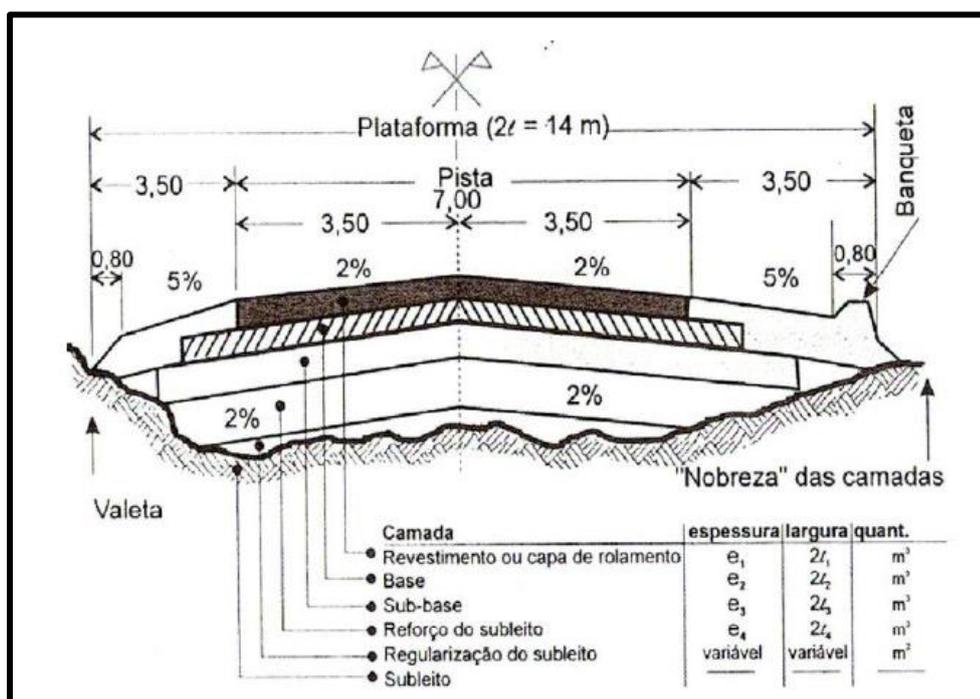
No asfalto modificado, para melhorar o desempenho do ligante asfáltico para que este possa trabalhar em situações adversas (condições ambientais, tráfego pesado, etc.), podem ser adicionados produtos modificadores de suas propriedades, como os asfaltos naturais (gilsonita ou asphaltita), fíleres (cal, cimento, sílica etc.), fibras (vidro, asbestos, fibras de celulose e fibras poliméricas) ou por enxofre elementar; Entretanto, a modificação mais empregada atualmente é através do uso de polímeros (GUSMÃO, 2009).

Durante muitos anos, engenheiros e químicos trabalham misturando borracha natural (látex) e borracha sintética (polímeros) em ligantes asfálticos na tentativa de melhorar as propriedades elásticas do ligante asfáltico; Mas só na década de 40 se iniciou a história da adição de borracha reciclada de pneus em materiais para pavimentação asfáltica com a Companhia de Reciclagem de Borracha, *U.S. Rubber Reclaiming Company*, que introduziu no mercado um produto composto de material asfáltico e borracha desvulcanizada reciclada, denominado *Ramflex™* (ODA, 2000).

No Brasil, na década de 90, o CENPES (Centro de Pesquisas da Petrobrás) começou a desenvolver pesquisas voltadas à área de materiais asfálticos modificados por polímeros, com o objetivo principal de estudar o desempenho desses materiais, foram realizados, também, alguns experimentos com materiais asfálticos modificados por borracha de pneus moída, sendo desenvolvida uma pesquisa, com a UFSC (Universidade Federal de Santa Catarina), que tinha como objetivo comparar tipos de borracha de diferentes fornecedores e processos de produção, outros estudos, utilizando borracha de pneus moída, estão sendo desenvolvidos em universidades e centros de pesquisas. (ODA, 2000).

O Brasil possui uma demanda muito grande de implantação e recapeamento de rodovias pavimentadas, este fato se deve principalmente a extensa malha rodoviária e ao grande número de caminhões e ônibus que trafegam diariamente nas estradas do nosso país, este revestimento asfáltico deve-se ter uma boa qualidade, durabilidade, suportar o excesso de peso, as variações de temperaturas, as deformidades causadas por esse grande tráfego de nossas vias e essas características não são apresentadas pelos revestimentos com ligantes convencionais, pensando nisso que a indústria de asfalto vem investindo em misturas asfálticas mais resistentes e duráveis e em tecnologias novas como o asfalto borracha que aumentem a durabilidade e qualidade das vias de nosso país. (GRECA ASFALTOS, 2014), conforme a fig.9, demonstra a seção de uma via pavimentada.

Figura 9- Seção transversal de um pavimento



Fonte: Senço, 1997.

4.11.1 PROCESSAMENTO DO PNEU INSERVÍVEL NA COMPOSIÇÃO DO ASFALTO

Segundo Oda (2000), o uso da borracha de pneus como ligantes asfálticos é uma alternativa para reduzir o grande problema ambiental da

disposição inadequada dos pneus inservíveis, e um grande obstáculo para o emprego desta tecnologia é o alto valor da trituração destes pneus. De acordo com Greca (2014), no ano de 2009 o Brasil possuía 3.000 km de rodovias revestidas por asfalto-borracha, como demonstrando-se esse processo na fig.10.

Figura 10- Aplicação da massa e execução da emenda longitudinal



Fonte: Gusmão, 2009.

“Cada tonelada de mistura asfáltica pode incorporar a borracha de 1 a 4 pneus de veículo de passeio” (BERTOLLO e FERNANDES JR., 2002, p.28).

Em obras de pavimentação, a borracha de pneus pode ser incorporada aos materiais asfálticos através de dois processos: úmido e seco, no processo úmido, a borracha moída (cerca de 5% a 25% do peso total de ligante) é incorporada ao ligante asfáltico antes de se adicionar o agregado (asfalto-borracha), atuando como modificadora do cimento asfáltico e no processo seco, a borracha moída (cerca de 1% a 3% do peso total da mistura) é misturada com o agregado (agregado-borracha) antes de se adicionar o ligante asfáltico, em substituição de uma pequena parte dos agregados finos, as técnicas de produção de mistura para o processo seco são semelhantes às utilizadas na

produção de CAUQ (Concreto Asfáltico Usinado a Quente) convencional (ODA, 2000).

Nas misturas asfálticas, por exemplo, se dá a preferência pela borracha triturada no processo mecânico (SALINI, 2000).

“Entre as variáveis que influenciam o comportamento do ligante asfalto-borracha, deve-se dispensar uma atenção especial à temperatura de compactação, pois esta deve girar em torno de 155° C/160° C, necessitando atenção para evitar o trincamento da massa quando muito quente e a formação de “ondas” à frente do rolo (fig. 11)” (MELLONE; SANTOS e SHIBAO, 2013 apud Specht e Ceratti, 2003, p.59).

Figura 11- Compactação com o rolo liso



Fonte: Revista Greca Asfaltos, 2010.

4.11.2 CUSTO DO ASFALTO BORRACHA

Analisando o trabalho realizado por Sanches, Grandini, Junior (2012), após 7 anos de utilização da via em estudo, fez-se uma análise visual e chegou-se a conclusão que aproximadamente 70% do trecho com CAP-50/70 sofreu algum tipo de manutenção, enquanto o asfalto-borracha precisou

somente de 10% de reparo. Os custos de execução e manutenção seguem abaixo:

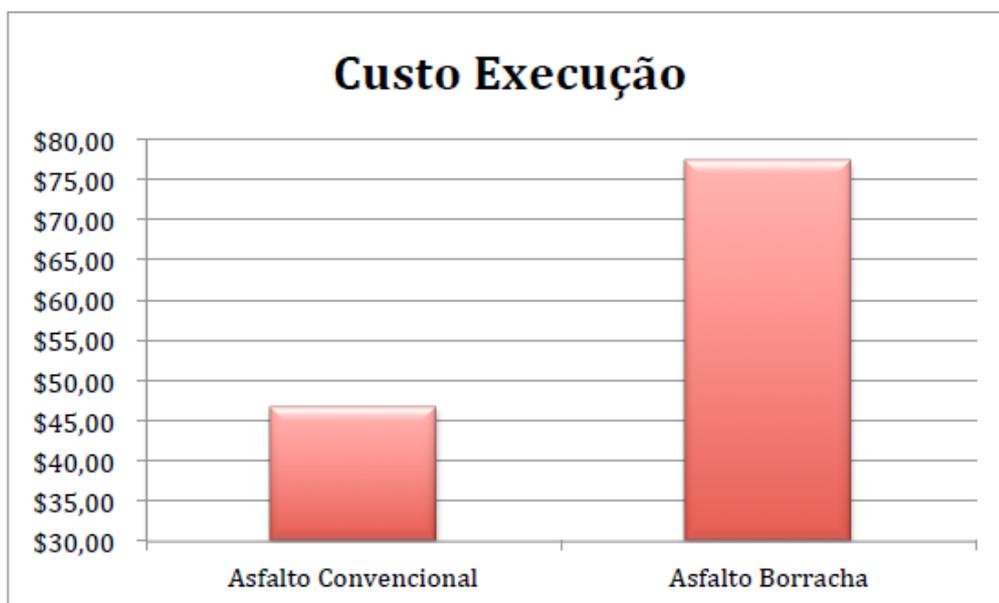
1) Execução de pavimento em asfalto convencional com preparo de base: R\$ 46,66/m².

2) Execução de pavimento em asfalto-borracha com preparo de base: R\$ 77,22/m².

3) Manutenção em asfalto convencional: R\$ 67,30/m².

Verificando que o custo de execução do asfalto borracha é maior. Percentualmente, um valor 65,49% maior, conforme o graf.3.

Gráfico3 - Custo de execução dos asfaltos



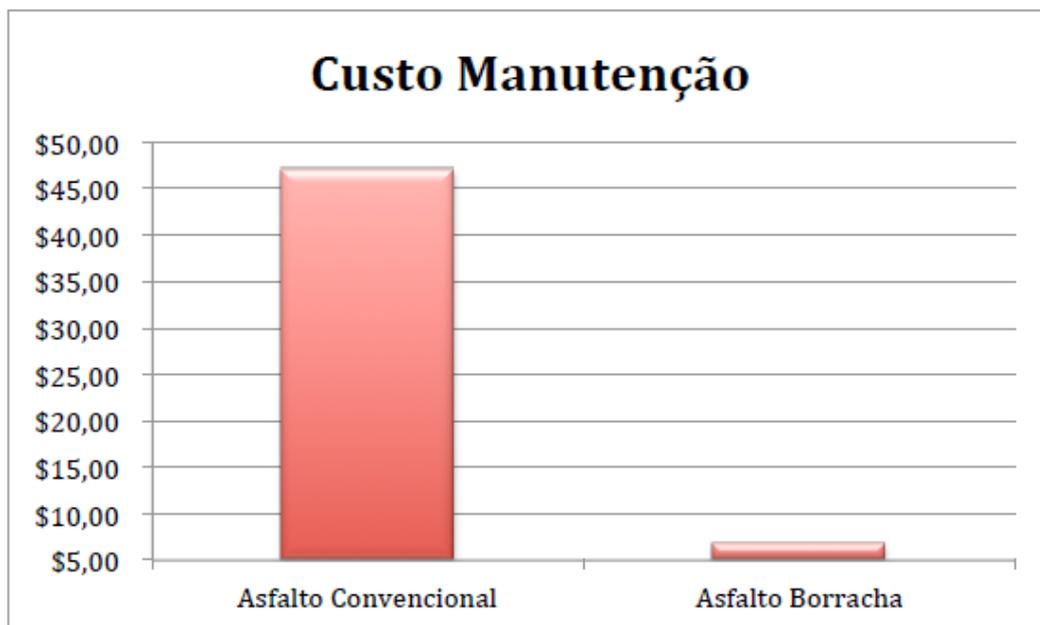
Fonte: Sanches, Grandini, Junior ,2012.

Entretanto, foram observados diferentes níveis de desgaste nas vias. Sendo assim, aplicando percentualmente a quantidade de manutenção necessária em cada trecho, ter-se-á novos valores para o custo de manutenção a ser aplicado na via, conforme o graf.4 mostra:

1)Manutenção do asfalto-borracha: R\$ 67,30/m² x 0,10= R\$ 6,73/m².

2) Manutenção do asfalto convencional: R\$ 67,30/m² x 0,70= R\$ 47,11/m².

Gráfico 4– Custo de manutenção.



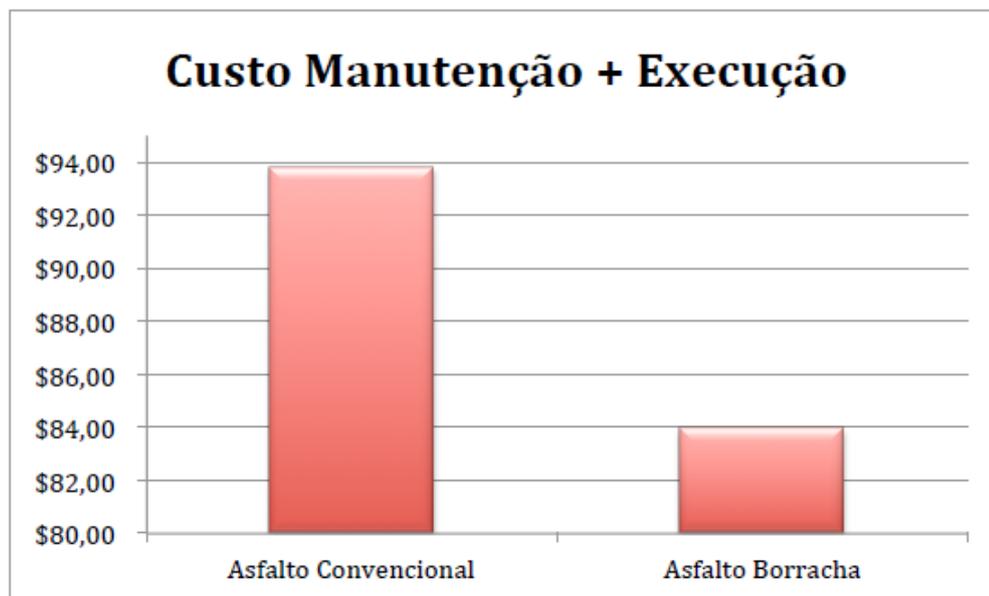
Fonte: Sanches, Grandini, Junior ,2012.

Comparando somente os valores de manutenção, fica clara a diferença entre o reparo do CAP-50/70 e o AB. Contudo, para se ter um valor confiável de comparação é necessário somar os dois custos, de manutenção e execução, conforme o graf.5. Sendo assim:

1) Manutenção + Execução AB8: $R\$6,73/m^2 + R\$77,22/m^2 = R\$83,95/m^2$.

2) Manutenção + Execução CAP-50/70: $R\$47,11/m^2 + R\$46,66/m^2 = R\$93,77/m^2$.

Gráfico 5 – Custo de execução e manutenção



Fonte: Sanches, Grandini, Junior ,2012.

Comparando os estudos realizados por Sanches, Grandini, Junior (2012), verificou-se que o asfalto convencional tem um custo de 11,69% maior que o asfalto borracha neste período de 7 anos no qual se foi realizado o estudo, pois ele tem uma manutenção muito menor comparado ao asfalto convencional.

4.12 CONCRETO COM ADIÇÃO DE BORRACHA DE PNEU

Segundo Granzotto (2010), em 1993 Eldin e Senouci iniciaram pesquisas utilizando o pneu inservível na adição do concreto.

Ultimamente as indústrias vêm sendo estimuladas a desenvolverem materiais alternativos, produzidos por métodos ecologicamente corretos; O aproveitamento de resíduos na composição de novos materiais é uma tendência e está crescendo em todos os ramos das atividades econômicas, devido a essa necessidade, estudos e pesquisas têm sido desenvolvidos com a finalidade de utilizar os resíduos de borracha de pneus inservíveis na construção civil, incorporando no concreto (VIEIRA, 2014). Conforme mostra a fig. 12, corpos de provas para se fazer os estudos para avaliação dos traços utilizados.

Figura 12- Corpos de prova do concreto com adição de resíduo de pneu



Fonte: Santos e Borja, 2007.

De acordo com Vieira (2014), a produção de concreto utilizando raspas de pneu tem como uma das principais vantagens, o aproveitamento do resíduo causador de inúmeros problemas ambientais e de saúde pública, já que o pneu possui tempo indeterminado para sua degradação.

Segundo Freitas(2007 apud ACCETTI; PINHEIRO, 2000), com a adição da raspa de pneu no concreto perceberam que elas exercem o papel de uma barreira que impede o aparecimento das fissuras, o surgimento prematuro dessas, no período de endurecimento da pasta de cimento é evitado pelas raspas de pneu adicionadas, que inibem o desenvolvimento e progressão das microfissuras.

De modo geral as composições adicionadas de borracha de pneu são indicadas para uso em elementos que exijam baixa resistência mecânica, menor peso e absorção de água, bom isolamento térmico e acústico além de resistência ao impacto (FIORITI, 2007).

4.12.1 BLOCOS DE CONCRETO

No Brasil, o início da utilização dos blocos de concreto foi com a construção das usinas de Jupia e Ilha Solteira, em São Paulo, pela Camargo Corrêa, na década de 1960 a Camargo Corrêa importou máquinas especiais da marca Besser, norte americana, para a fabricação dos blocos de concreto utilizados na construção da cidade de Ilha Solteira, que hoje é um centro de excelência na pesquisa de alvenaria estrutural (TAUIL, 2005).

A alvenaria estrutural tornou-se uma técnica de construção somente no final da década de 1960, sendo anteriormente considerada apenas como uma “alvenaria resistente” fruto de conhecimento empírico, uma vez que não existiam normas reguladoras que fixassem critérios de dimensionamento e de segurança dos elementos estruturais (MOHAMAD et al., 2010).

Para garantir que o consumidor esteja comprando blocos que possuam controle de qualidade e sejam normalizados, eles têm que atender às NBR's (Normas Técnicas Brasileiras). A Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT define esses na NBR 6136: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – requisitos, e na NBR 12118: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – métodos de ensaio.

4.12.1.1 BLOCOS INTERTRAVADOS

Pavimentos intertravados de concreto são peças pré-moldadas que surgiram visando desenvolver a estrutura de estradas e vias urbanas, as peças pré-moldadas de concreto possuem dimensões e qualidades padronizadas, exigindo alto controle no processo de fabricação, no entanto, sua aplicação é de fácil manuseio, não necessitando de mão de obra especializada (Santos; Borja, 2007).

A pavimentação intertravada em blocos pré-moldados de concreto constitui uma excelente alternativa tanto do ponto de vista técnico como econômico. Trata-se de uma opção intermediária entre os pavimentos rígido e flexível, somando vantagens de ambos. O pavimento com blocos pré-moldados de concreto constitui uma versão moderna e aperfeiçoada dos antigos paralelepípedos (VIEIRA, 2014).

A NBR 9781/2013, além de apresentar os métodos de ensaio, fixa as condições mínimas exigidas para a aceitação dos blocos de concreto para pavimentação intertravada sujeita ao tráfego de pedestres, veículos dotados de pneumáticos e área de armazenamento de produtos. Segundo a citada norma técnica, obrigatoriamente, devem ser realizadas as seguintes avaliações:

a) Inspeção Visual: As peças de concreto devem apresentar aspecto homogêneo, arestas regulares e ângulos retos e devem ser livres de rebarbas defeitos, delaminação e descamação, devendo atender aspectos gerais, como ter espaçador de junta incorporado. O chanfro das peças de concreto chanfradas, tanto na projeção horizontal como na projeção vertical, deve ser de no mínimo 3mm e no máximo 6mm; as peças de concreto devem apresentar arestas regulares nas paredes laterais e nas faces superior e inferior. E o ângulo de inclinação das peças deve ser igual a 90°.

b) Avaliação dimensional: As peças de concreto devem ter dimensões dentro dos limites estabelecidos, comprimento de no máximo 250 mm, largura mínima de 97 mm e espessura de no mínimo 60mm. Sendo fixada as tolerâncias dimensionais de, ± 3 mm de comprimento, ± 3 mm de largura e ± 3 mm de espessura.

c) Absorção de água: A amostra de peças de concreto deve apresentar absorção de água com valor médio menor ou igual a 6%, não sendo admitido nenhum valor individual maior do que 7%.

d) Resistência à compressão: A resistência característica à compressão aos 28 dias, deve ser maior ou igual a 35 MPa para solicitações de tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha, e maior ou igual a 50MPa para solicitações de tráfego de veículos especiais e solicitações capazes de produzir efeitos de abrasão acentuados.

4.12.1.1.1 UTILIZAÇÃO DOS PNEUS INSERVÍVEIS NA PRODUÇÃO DE BLOCOS INTERTRAVADOS

De acordo com Lima e Rocha (2004), a borracha tem como sua característica principal a elasticidade, mas também tem outras características importantes como a flexibilidade, impermeabilidade e resistência à abrasão.

Segundo Vieira(2014, apud Raghavan e Huynh1998), que utilizando da microscopia eletrônica nos testes feitos nos corpos de prova de argamassas rompidos por flexão, mostra que a ruptura acontece na interface da borracha com a massa de cimento pois não há tanta aderência entre os materiais.

A substituição do agregado miúdo por adições do resíduo de pneu nas porcentagens de 10%, 20% e 30%, em massa. Investigou-se nas amostras os parâmetros de massa específica e resistência à compressão. Analisaram-se, de forma comparativa, os resultados obtidos nos corpos-de-prova de referência com os confeccionados com pneu. Verificou-se que até o limite de 30% de resíduo de pneu, a mistura apresentou trabalhabilidade e coesão, atingindo uma resistência à compressão de 12MPa (Santos; Borja, 2007).

4.12.1.2 BLOCOS ESTRUTURAIS

De acordo com Holanda (2000), os blocos estruturais de concreto estão sendo muito empregados atualmente na construção civil, mas a sua utilização já é bem antiga, apesar disto, a alvenaria como é vista hoje é tratada como um meio construtivo moderno; Um bloco de concreto é composto por uma mistura homogênea dosando cimento, agregado miúdo e água, conforme a fig. 13 está demonstrando sua moldagem.

Figura 13- Moldagem de blocos



Fonte: Fioriti e Akasaki, 2004.

4.12.1.2.1 UTILIZAÇÃO DOS PNEUS INSERVÍVEIS NA PRODUÇÃO DE BLOCOS ESTRUTURAIS

De acordo com Fioriti e Akasaki (2004), primeiramente realiza-se uma análise granulométrica e se determina as massas específicas da areia, pedrisco e os resíduos da borracha; logo após é dado um tratamento especial nos resíduos de borracha, processando e classificando o material por uma peneira de número vinte, no qual classifica os materiais que serão utilizados na fabricação dos blocos, de acordo com a ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas, isso representa 37% do volume total do material.

Segundo Selung et al. (2013), foram produzidos blocos de concreto utilizando três porcentagens de resíduo de pneu, a brita foi substituída parcialmente pelo resíduo de borracha nas proporções de 15%, 25% e 35%, verificou-se um aumento na absorção e uma redução na resistência à compressão dos blocos devido ao acréscimo do resíduo de borracha na massa; Constataram que somente o traço de 15% de resíduo de borracha atende ao valor mínimo de resistência segundo a NBR 6136 (2007), atendendo à classe C ($\geq 3,0$ MPa), para uso com função estrutural em elementos de alvenaria acima do nível do solo. De acordo com Santose Borja (2005), o traço

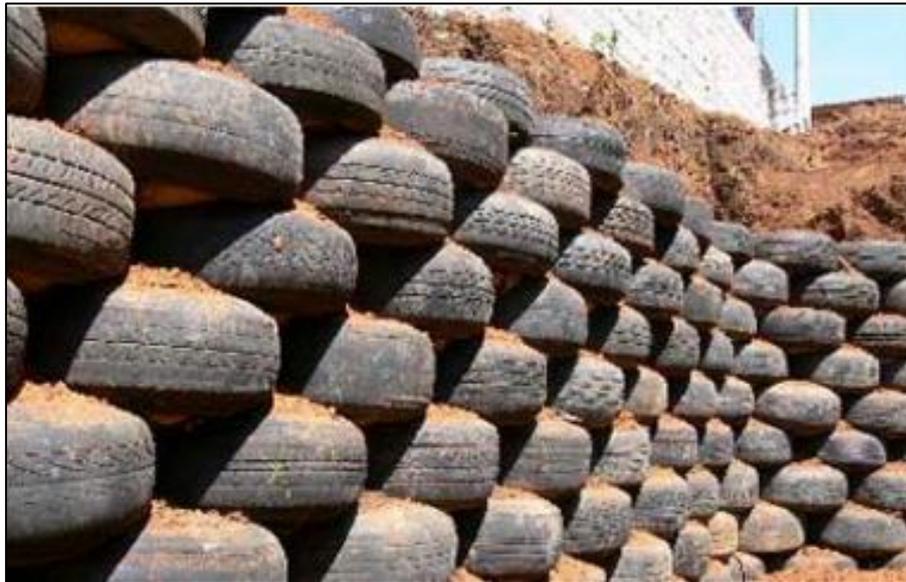
de concreto utilizando 5% de resíduo de pneu consegue chegar num valor máximo de 7,09 Mpa.

4.13 MUROS DE CONTENÇÃO DE PNEU INSERVÍVEL

Os muros de arrimo ou de gravidade são obras de contenção que têm a finalidade de restabelecer o equilíbrio da encosta através de seu peso próprio, suportando os empuxos do maciço (ALHEIROS, M.M.; SOUZA, M.A.; BITOUN, 2002 apud CUNHA, 1991).

De acordo com Magalhaes (2014), é uma técnica que utiliza os pneus inservíveis juntamente com o solo, formando um conjunto que pode ser empregado em obras na Engenharia Civil, como demonstra a fig. 14 de um muro em uma obra de pequeno porte.

Figura 14- Muro de contenção de encosta utilizando pneu inservível



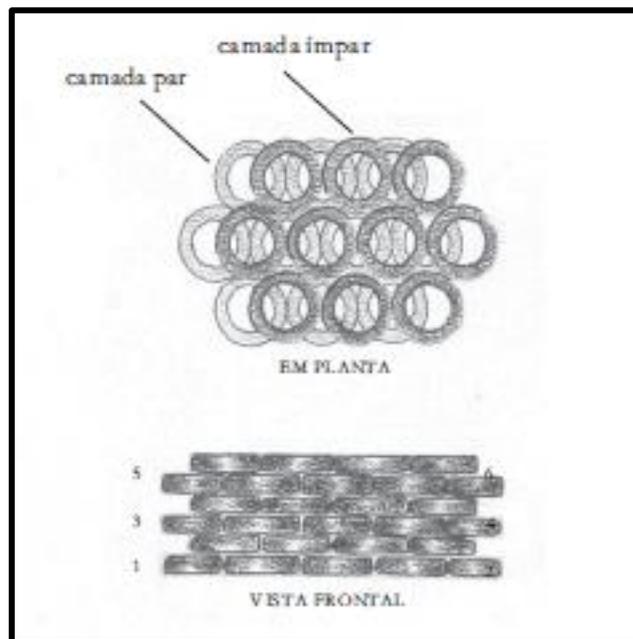
Fonte: O Estado RJ, 2018.

Segundo Long (1993), em 1974, na França, se desenvolveram os primeiros estudos no qual se utilizava da combinação de pneus e solo, mas somente em 1982, em Langres na França, que um muro experimental foi construído, com 5 metros de altura e 10 metros de extensão.

4.13.1 UTILIZAÇÃO DO PNEU INSERVÍVEL EM MUROS DE CONTENÇÃO

São obras de fácil construção e de baixo custo, com boa drenabilidade, que utiliza o solo da própria encosta associado a uma estrutura montada com pneus inservíveis, amarrados uns aos outros segundo um arranjo pré-estabelecido (Figura 15) em função da altura da encosta e das dimensões do muro (ALHEIROS, M.M.; SOUZA, M.A.;BITOUN, 2002).

Figura 15- Arranjo de um muro de arrimo



Fonte: Alheiros, Souza eBitoun, 2002.

Em relação ao processo de amarração dos pneus, este pode ser realizado utilizando corda ou metal, por forma a unir os pneus da mesma camada e entre camadas adjacentes (MAGALHÃES, 2014).

A sua utilização como estrutura de suporte de terras envolve, em regra, uma estrutura de gravidade, isto é, a sua estabilidade é assegurada pelo peso próprio (MAGALHÃES, 2014).

De acordo com Magalhaes(2014 apud Zimmerman 2011), a construção de muros de pneus consiste na colocação de pneus no solo e na posterior compactação de solo no seu interior. Frequentemente, é colocada uma camada de papel na abertura fundo dos pneus para evitar que o solo saia pela sua parte inferior, à medida que se realiza a compactação. Depois de efetuadas

estas ações para a primeira camada é colocada uma nova camada no topo, repetindo o processo até se atingir a altura do muro desejada para o efeito. O solo tem como principal objetivo fornecer maior massa ao muro, permitindo contrariar os impulsos exercidos pelo solo a conter.

5 METODOLOGIA

Este trabalho foi realizado através de revisão bibliografias em livros, trabalhos de conclusão de curso, teses de mestrado, doutorados e artigos científicos, no qual descrevem sobre a utilização dos resíduos de pneu paratovos métodos na construção civil como a sua utilização no concreto, pavimentação de vias no qual seria o asfalto borracha e os muros de contenção que são comumente utilizados, podendo abrir um novo leque de estudos para se desenvolver novas tecnologias ligados a área de reciclagem dos resíduos e na construção civil, demonstrando a viabilidade técnica de cada uma das áreas na qual se utiliza este resíduo.

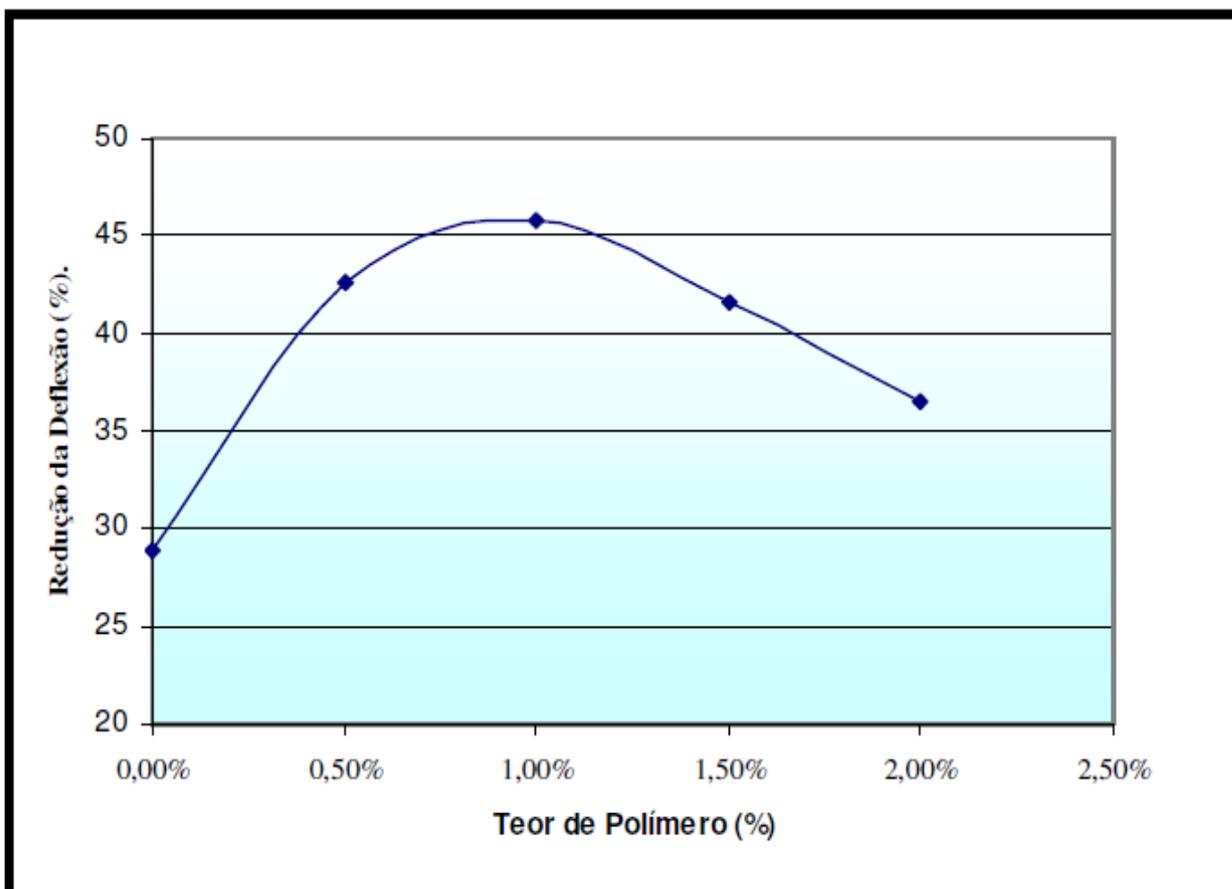
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesse tópico são analisados os resultados obtidos por diferentes pesquisadores que estudaram o tema deste trabalho.

6.1 PAVIMENTAÇÃO DE RODOVIAS

Após a revisão de alguns estudos em que foram utilizados para a execução deste trabalho, concluiu-se que a utilização dos resíduos de pneus inservível na pavimentação é uma forma bem viável de ser utilizada, pois aumenta e muito a vida útil da via (Graf. 6) na qual ela for implantado, conforme estudo realizado por Gusmão (2009).

Gráfico 6 – Diminuição da deflexão em relação a adição de resíduo de pneu



Fonte: Gusmão, 2009.

Com essa diminuição da deformação sofrida pelo asfalto com adição de borracha, mostra que ele contribui e muito com a durabilidade da via na qual for implantada pois as suas propriedades de não sofrer deformações são melhoradas de acordo com a adição do resíduo, comprovando a sua viabilidade em relação à deformação causada na via que hoje é um grande problema nas vias brasileiras, podendo ser assim uma grande solução para este problema.

Outro grande estudo que comprova essa boa utilização deste resíduo foi o realizado pela Greca Asfaltos (2014), no qual ela submeteu duas placas uma de asfalto convencional e outra com asfalto borracha a um simulador de tráfego (Orniéreur), no qual a placa da direita com asfalto borracha deformou-se 5% após 30.000 ciclos de simulação e a placa da esquerda confeccionada com ligante convencional deformou-se 13% após apenas 10.000 ciclos. Como mostra a fig.16.

Figura 16- Placas submetidas ao teste de tráfego



Fonte: Greca Asfaltos, 2014.

*898: Asfalto sem o ligante de borracha.

*900: Asfalto com ligante de borracha.

E segundo Oda et al. (2005), os principais benefícios técnicos comprovados do asfalto-borracha são:

- Aumento da vida útil do pavimento;
- Maior resistência à formação de trilhas de roda;

- Maior resistência ao envelhecimento;
- Aumento do ponto de amolecimento;
- Melhor aderência pneu-pavimento e a redução do ruído gerado pelo tráfego, acarretando maior conforto aos usuários;
- Redução dos riscos de aquaplanagem em dias de chuva.

Demonstrando assim através de todos esses estudos a viabilidade da utilização deste tipo de material, pois ele tem um custo-benefício (Graf. 5) muito bom pois sua implantação tem um valor mais elevado mas não se precisa gastar tanto com a manutenção da via como no asfalto convencional sendo assim um custo final mais baixo que o asfalto convencional.

6.2 CONCRETO

Fazendo a comparação de dois estudos (Graf 2, Graf. 3) levando em relação a resistência do concreto com adição de resíduo de pneu, no qual eles mostram a resistência que cada concreto com porcentagens diferentes de resíduo conseguem chegar.

Quadro 2– Relação porcentagem de resíduo de pneu x Resistência a compressão

Porcentagem de resíduo de pneu no concreto	Resistência à compressão (MPa)
0%	37,14
9,20%	13,68
18%	10,28
26,80%	6,74

Fonte: Segatini, 2014.

Quadro 3– Teste de compressão

Porcentagem de resíduo de pneu no concreto	Resistência à compressão (MPa)
0%	26,31
8%	23,25
10%	20,09
12%	19,15
15%	15,21

Fonte: Fioriti, Ino e Akasaki, 2010.

Com base nos dois quadros demonstrados acima podemos ver que com o aumento da porcentagem do resíduo de pneu a resistência a compressão do concreto diminui drasticamente, segundo Selung et al. (2013) constata a possível utilização do resíduo de borracha, pois atende o valor mínimo de resistência segundo a NBR 6136 (2007), atendendo a classe C ($\geq 3,0$ MPa), para uso com função estrutural em elementos de alvenaria acima do nível do solo. Concluindo que quanto menor a porcentagem de resíduo de pneu inservível mais viável e a sua utilização em relação a resistência do material.

Outro ponto importante que todos os trabalhos estudados mostram e a capacidade de absorção de água (Quadro 4, Quadro 5) dos concretos com resíduo de pneu.

Quadro 4– Porcentagem de resíduo x absorção de água

Porcentagem de resíduo de pneu no concreto	Absorção de água (%)
0%	6,7
9,20%	7,8
18%	8,1
26,80%	6,96

Fonte: Segatini, 2014.

Quadro 5– Porcentagem de absorção de água

Resíduo de pneu no concreto (%)	Porcentagem de absorção de água
0	3,43%
8	3,89%
10	3,12%
12	3,96%
15	6,30%

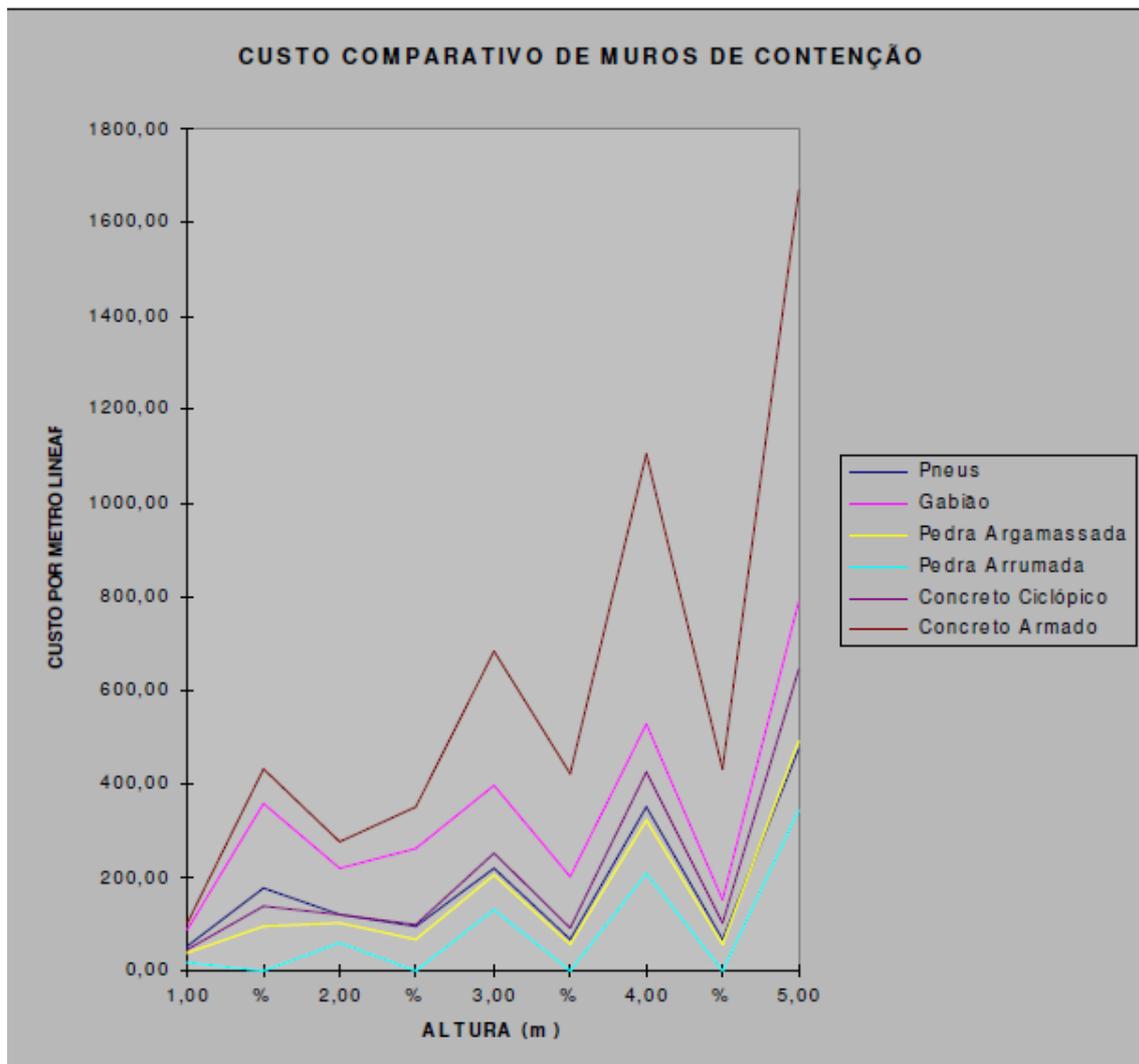
Fonte: Fioriti, Ino e Akasaki, 2010.

Comparando os quadros acima vimos que todas as amostras também estão sendo viáveis de serem utilizadas em relação a absorção de água do concreto com o resíduo mostrando também que quanto menor for a porcentagem deste resíduo na mistura menor será sua absorção de água pelo concreto como mostra os quadros variando de 8% até 12% de resíduo, tornando assim viável o uso dele em nossas construções.

6.3 MUROS DE CONTENÇÃO

Um dos grandes pontos positivos deste tipo de muro é a sua fácil execução (em obras de pequeno porte) e seu baixo custo de implantação em relação ao muro de concreto armado e ao muro de gabião que são os mais comumente utilizados, como mostra o gráfico 7, mostrando a diferença de custo da execução destes dois tipos de muro de contenção.

Gráfico 7– Diferença de custos dos muros de contenção



Fonte: Souza, 2002.

Pode-se ver que os muros de contenção com pneu inservível tem um custo bem inferior aos muros de concreto armado e os muros de gabião que são os tipos mais utilizados, pois tem uma mão de obra fácil e barata, os pneus que serão utilizado são de descarte então não se tem um valor alto, tornando este modo de construção uma das formas mais viáveis economicamente e ambientalmente, pois o custo é baixo e ajuda a não poluir o meio ambiente.

7 CONCLUSÃO

Através de pesquisas realizadas neste trabalho, o asfalto borracha é um grande exemplo no qual se tem uma melhor aderência do pneu ao solo e um menor desgaste ao fluxo, sendo bem mais duráveis que o asfalto convencional precisando ser melhor difundido em nosso país.

A adição do resíduo de borracha de pneu inservível na mistura do concreto como substituto do agregado miúdo, deixa a desejar quanto a resistência mecânica, deste modo, seu uso é indicado em elementos que solicitem baixa resistência mecânica como nos pavimentos intertravados destinados ao tráfego de pedestres. Quanto a sua utilização em blocos estruturais, a substituição do agregado miúdo desce para 5% para competir com o concreto tradicional, mas confere a redução de massa dos blocos contribuindo no aspecto ergonômico para os trabalhadores.

A técnica da utilização dos pneus inservíveis inteiros na construção de muros de contenção, vem sendo empregada a bastante tempo, é uma técnica segura, resistente, de simples edificação e de baixo custo comparada a outros métodos construtivos de estruturas de suporte de terra.

Assim, através dos trabalhos pesquisados pode-se concluir que a utilização do resíduo de borracha de pneu inservível, tem sua utilização viável em todos os modos citados, colaborando com a preservação do meio ambiente e atuando também nos aspectos econômicos e sociais.

REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

ABNT – **Associação Brasileira de Normas Técnicas**. ABNT NBR 7207:1882: Terminologia e Classificação de Pavimentação. ABNT, 1982.

ABNT NBR 9781/2013 - **Peças de concreto para pavimentação - Especificação e métodos de ensaio**.

ALHEIROS, M.M.; SOUZA, M.A.;BITOUN, J. (Coord.). **Manual de ocupação dos morros**.

ANDRIETTA, A.J. **Pneus e Meio Ambiente: Um grande problema requer uma grande solução**. Out. 2002. Disponível em: Áreas de Operações Industriais 2/ Gerência Setorial 2. Junho, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **ABNT. NBR 12118: blocos vazados de concreto simples para alvenaria – métodos de ensaio**. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **ABNT. NBR 6136: blocos vazados de concreto simples para alvenaria – requisitos**. Rio de Janeiro, 2007. 9 p.

BARONI, M; SPECHT. L. P; PINHEIRO, R. J. B. **Construção de estruturas de contenção utilizando pneus inservíveis: análise numérica e caso de obra**. 2012 – Revista Escola de Minas

Bernucci, LiediBariani; Motta, Laura Maria Goretti da; Ceratti, Jorge Augusto Pereira; Soares, Jorge Barbosa; **Pavimentação Asfáltica**; Rio de Janeiro – RJ, 2008.

BERTOLLO, S.A.M.; FERNANDES JR, J.L. **Benefícios da Incorporação de Borracha de Pneus em Pavimentos Asfálticos**. In: XXVIII CONGRESSO INTERAMERICANO DE INGENIERÍA SANITÁRIA Y AMBIENTAL. 2002, Cancun. Anais...Cancun, México. 2002. p. 01-08.

BNDES: **Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social**. Pneus. BNDES:

BONENTE, L. A. I. M., **Transformação de pneus inservíveis em dormente ferro-viário: proposta de pesquisa tecnológica**. Laboratório de Estudos e Simulação de Sistemas Metro-Ferroviário COPPE-UFRJ, 2005.

BRASIL – **Ministério do Meio Ambiente, Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA**. INSTRUÇÃO NORMATIVA N.8, de 15 de maio de 2002, DOU n.95, seção I, de 20 de maio de 2002, Brasília, DF. In: Base de Dados de Informações Documentárias, 2002.

CAHPI CONSULTORIA & SERVIÇOS. **Emissões de gases tóxicos pela queima de pneus.** Disponível em: <<http://www.cahpiconsultoria.com.br/index.php/servicos/>> Acesso em: 28 de julho de 2018.

DNER; **Manual de Pavimentação, 2º Edição**; Rio de Janeiro - RJ, 1996.

FAZZAN, J. V. **Comportamento estrutural de lajes pré-moldadas treliçadas com adição de resíduos de borracha de pneu.** 2011. 169 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2011.

FIORITI, C. F. **Pavers de concreto com adição de resíduos da recauchutagem de pneus.** Artigo apresentado para Universidade de São Paulo- USP, PG. Ilha Solteira - S.P 2007. Disponível em :<<http://www.ppger.feis.unesp.br/produção2006/41.pdf>> Acessado em: 17 de julho de 2018.

FIORITI, C. F.; INO, A; AKASAKI, J.S. **Análise experimental de blocos de concreto com adição de resíduos do processo de recauchutagem de pneus.** 2010. Maringá/SP, 2010.

FIORITI, C.F.; AKASAKI, J.L. **Fabricação de blocos de estruturais de concreto com resíduos de borracha de pneus.** HolosEnvironment, Rio Claro, v. 4, n. 2, p. 145-156, 2004.

FREITAS, C. **Estudo do desempenho mecânico do concreto com adição de partículas de borracha para aplicação como material de reparo em superfícies hidráulicas.** Dissertação de Mestrado em Engenharia e Ciências dos Materiais. Programa de Pós-Graduação em Engenharia – PIPE. Universidade Federal do Paraná. Curitiba 2007.

GEIPOT - **Ministério dos Transportes e Empresa Brasileira de Planejamento em Transportes.** Anuário Estatístico de Transportes, 2000. Disponível em <<http://www.geipot.gov.br>> Acesso em 20 out. 2000.

GRANZOTTO, Laura. **Concreto com adições de borracha uma alternativa ecologicamente viável.** Dissertação de mestrado em Engenharia Urbana, Universidade Estadual de Maringá. Maringá/PR, 2010.

GRECA ASFALTOS. **Estudo comparativo do desempenho do Asfalto Borracha.** Disponível em: <<http://www.grecaasfaltos.com.br>> Acesso em: 28 de julho de 2018.

GRIBELER, E. C. **Logística reversa para reaproveitamento de Pneus usados: análise técnica e econômica das Condições para implantação de uma empresa de Reciclagem e reprocessamento. Monografia.** Faculdade Dinâmica de' Cataratas – UDC. Foz do Iguaçu, Paraná. 2010.

GUSMÃO, Márcio. **Restauração rodoviária usando asfalto modificado por polímero**. Ouro Preto, MG: Universidade Federal de Ouro Preto, 2009. (Dissertação de Mestrado).

HOLANDA, O.G.J. **Blocos de Concreto para alvenaria estrutural. 42º Congresso Brasileiro do Concreto, 2000**, Fortaleza, IBRACON, 2000. <http://naboleia.com.br/goodyear-comemora-173-anos-da-vulcanizacao-da-borracha/>>Acessado: 25 de julho de 2018.

KROTH, L. A. **Análise mecânica e química de placas pré-moldadas de concreto com adição de resíduos de borracha de pneus**. 2012. Dissertação de Mestrado Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

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*. São Carlos, v. 18, n. 2, p. 106-118, 2008.

Long N. T., 1993. **Le Pneusol :Recherches – Réalisations - Perspectives**. **InstitutNationaldesSciencesAppliquees**. 42 pp.

MAGALHÃES, A. F. C. **Estruturas de Suporte de Terras Executadas com Pneus - Modelo à Escala Reduzida**. Dissertação de Mestre em Engenharia Civil. Porto, 2014.

MELLONE; SANTOS e SHIBAO, 2013
<file:///C:/Users/Samuel/Downloads/3547-12103-1-PB.pdf>

MOHAMAD, G.; ROMAN, H. R.; RIZZATTI, E.; ROMAGNA, R. Alvenaria estrutural. In: ISAIA, G. C. (Ed.). **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. São Paulo: IBRACON, 2010. p. 1045-1075.

MOTTA, Flávia Gutierrez. **A cadeia de destinação dos pneus inservíveis – o papel da regulação e do desenvolvimento tecnológico**. *Ambiente & Sociedade*, v. XI, n. 1, p. 167 – 184, 2008.

NOVICKI, R.E.M. e MARTIGNONI, B.N.V. **Retortagem de Pneus**. In: **SEMINÁRIO NACIONAL SOBRE REÚSO/RECICLAGEM DE RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS** . PETROBRÁS-PR, 2000.
O CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE- CONAMA, RESOLUÇÃO No 416, DE 30 DE SETEMBRO DE 2009.

O Estado RJ <<https://oestadorj.com.br/pneus-podem-ser-base-de-muros-de-contencao-em-encostas-no-pais/>> Acessado: 08 de agosto de 2018

ODA, S.; NASCIMENTO, L. A. H.; EDEL, G. **Aplicação do asfalto borracha na Bahia**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE P&D EM PETRÓLEO E GÁS, 3., 2005, Salvador.

PALMEIRA, M. **Qual a matéria-prima do pneu?. GF pneus**, 2017. Disponível em: <<https://www.gfpneus.com.br/blog/qual-a-materia-prima-do-pneu/>>. Acesso: 19/08/2018.

PIRELLI BRAZIL. **Pneus, Informações técnicas. In Pirelli Home Page** [online]. Disponível em: <<http://www.pirelli.com.br/pr/pneumatici/infoteck/index.htm>> Acessado em: 25/03/2001

Pneu Zetum. Disponível em <http://www.pneuz.com.br/produtos/pneu-zetum-kr26-175-65-14/>. Acesso: 20/09/2018.

RAMOS, L. S. N. F. **A logística reversa de pneus inservíveis: o problema da localização dos pontos de coleta**. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2005.

RECICLANIP. Disponível em :<<http://www.reciclanip.org.br/>>. Acessado: 10 de junho de 2018.

região metropolitana de Recife. Programa Viva o Morro. Recife: FIDEM/ATEPE, RIBEIRO, C. M. C. **Gerenciamento de pneus inservíveis: coleta e destinação final**. 2005. 87 f. Dissertação (Mestrado) – Centro Universitário Senac, São Paulo, 2005.

SALINI, Réus Bortolotto. **Utilização de borracha reciclada de pneus em misturas asfálticas**. Dissertação de Mestrado, 2000, 120 p. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

SANCHES, G. F; GRANDINI, F. H. B; JUNIOR, O. B - **AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE FINANCEIRA DE PROJETOS COM UTILIZAÇÃO DO ASFALTO-BORRACHA EM RELAÇÃO AO ASFALTO CONVENCIONAL** – Universidade Tecnológica Federal do Para, Curitiba/PR – 2012

SEGATINI, R.B. **Análise de blocos de concreto com resíduo de borracha de pneu e metacaulim**. 2014. 75p. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil-Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2014.

SEGRE, N. C. **Reutilização de borracha de pneus usados como adição em pasta de cimento**. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Química. Campinas 1999.

SELUNG, C. S.; MENEGOTTO, M. L.; MENEGOTTO, A. G. F.; PAVAN, R. C. **Avaliação de blocos de concreto para alvenaria com adição de resíduos de borracha de pneus**. HolosEnvironment, Rio Claro, v. 13, n. 2, p. 212-223, 2013.

SENÇO, W. **Manual de técnicas de pavimentação** São Paulo: PINI, 1997. v. I.

SEST SENAT- **Cerca de 450 mil toneladas de pneus são descartadas por ano no Brasil**. Disponível em :<<http://www.sestsenat.org.br/imprensa/noticia/cerca-de-450-mil-toneladas-de-pneus-sao-descartados-por-ano-no-brasil>>. Acessado : 10 de junho de 2018.

SOUZA, A. N. **Muro de Contenção Utilizando Pneus: Análise e Alguns Comparativos de Custo**. 2002. 121p. Dissertação de Mestrado em Engenharia – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre/RS, 2002.

TAUIL, C. A. **O Pai da matéria**. Revista Prisma, São Paulo, v. 12, 2005.

VELOZO, Z. M. F. **Ciclo de vida dos pneus. Ministério do Meio Ambiente**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br>. Acessado em: 24 de julho de 2018.

VIEIRA, A. P. B. **Viabilidade Técnica da Fabricação de Compósito Utilizando Fibra de Pneus na Fabricação de Blocos Intertravados**. 2014. 83p. Dissertação de mestrado (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal/RN, 2014.