

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS

EDUARDO NOMURA PEDRAZZOLI

REINTEGRAÇÃO DA BORRACHA DE PNEUS INSERVÍVEIS PARA  
CONSTRUÇÃO CIVIL

SÃO CARLOS - SP

2021

EDUARDO NOMURA PEDRAZZOLI

Reintegração da borracha de pneus inservíveis para a construção civil

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia de Materiais da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), Campus São Carlos, como parte dos requisitos para obtenção do título de bacharel em Engenharia de Materiais.

Orientador: Prof. Dr. José Augusto Marcondes Agnelli

São Carlos - SP

2021

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS

**Folha de aprovação**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Departamento de Engenharia de Materiais da Universidade Federal de São Carlos, como requisito para obtenção do título de bacharel em Engenharia de Materiais, apresentado em 17/11/2021:

---

Prof. Dr José Augusto Marcondes Agnelli  
UFScar

---

Prof. Dr. Márcio Raymundo Morelli  
UFScar

## **RESUMO**

O descarte de pneus vem sendo um grande desafio para a sociedade atualmente, por isso, muitas entidades e empresas que atuam nesse mercado contribuem para o combate do descarte incorreto de pneus. Um dos métodos mais utilizados pelas empresas, é o uso da logística reversa, onde através dela é possível reaproveitar todos os componentes dos pneus, e assim implementam a reciclagem do máximo possível de materiais que seriam descartados de forma irregular. Este trabalho apresenta métodos do processamento para o reaproveitamento dos materiais de pneus e algumas utilidades da borracha de pneus inservíveis visando de maneira principal a construção civil, especialmente para indústrias de cimentos e em pavimentações.

Palavras-chave: Pneus inservíveis. Reciclagem. Logística reversa. Construção civil. Pavimentação.

## **ABSTRACT**

The disposal of tires has been a major social challenge nowadays, which is why, many entities and companies that operate in this sector contribute to combating the incorrect dumping of tires. One of the methods most used by companies, is the reverse logistics, through which it is possible to reuse all the tire components, and thus implement the recycling as much as possible of materials that would otherwise be disposed irregularly. This paper work presents processing methods for the reuse of tire materials and other possibilities of using the rubber of tire waste mainly aimed at civil construction, specifically for cement and paving industries.

Keywords: Useless tire; Recycling; Reverse logistics; Civil construction; Paving.

## **LISTA DE FIGURAS**

Figura 1 - Componentes do Pneu.....	8
Figura 2 - Percentual de cumprimento de meta de destinação nacional (2009-2019)....	15
Figura 3 - Destinos possíveis para pneus usados e inservíveis .....	19
Figura 4 - Representação do processo em temperatura ambiente .....	20
Figura 5 - Representação das etapas do processo criogênico.....	21

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Composição química dos pneus.....	9
--	---

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1 - Estratégias de logística reversa e os respectivos ganhos de competitividade. .....	18
--	----

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	6
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	7
2.1	O QUE É UM PNEU?.....	7
2.1.1	Componentes do pneu.....	7
2.1.2	Materiais utilizados no pneu.....	9
2.1.3	Limites de uso/configuração como inservível.....	9
2.2	QUAIS OS IMPACTOS AMBIENTAIS DO DESCARTE INCORRETO DO PNEU?.....	10
2.3	QUAIS AS LEGISLAÇÕES EXISTENTES QUANTO A DESTINAÇÃO DE PNEUS INSERVÍVEIS?.....	12
2.3.1	Breve histórico da legislação.....	12
2.3.2	Outras legislações.....	14
2.3.3	Cumprimento da legislação vigente.....	15
3	QUAIS AS ESTRATÉGIAS ADOTADAS PELAS EMPRESAS PRODUTORAS E REVENDEDORAS PARA ADEQUAÇÃO AS NORMAS DE DESTINAÇÃO?.....	16
3.1	LOGÍSTICA REVERSA.....	16
3.2	PROCESSOS DE RECICLAGEM PARA USO DE RESÍDUO COMO MATÉRIA PRIMA.....	19
3.2.1	Trituração.....	19
3.2.2	Desvulcanização.....	21
3.2.3	Laminação.....	23
3.3	PROCESSAMENTO NA INDÚSTRIA DE CIMENTO.....	23
3.3.1	Pavimentação.....	24
4	CONCLUSÃO.....	27
5	REFERÊNCIAS.....	29

## 1 INTRODUÇÃO

O aumento da quantidade de resíduos industriais decorrente do crescimento da produção e novas tecnologias vem se tornado um dos principais problemas enfrentados pelas indústrias. Para muitos destes resíduos não são encontradas formas viáveis ou mesmo rentáveis de descartá-los de forma correta, ocasionando inúmeros problemas ambientais de contaminação, degradação e custos adicionais. No caso dos pneus, onde o modal rodoviário é o principal modo de despacho de produtos no Brasil (responsável pelo transporte de 74,53% dos produtos nacionais) e claramente afetado pela má qualidade das rodovias em nosso país, o desgaste prematuro dos pneus é inevitável, o que torna necessária cada vez mais precocemente a troca ou processos que geram grandes quantidades de resíduos sem utilidade (CNT, 2007). Segundo organizações internacionais, a produção diária de pneus novos está em cerca de 2 milhões em todo o mundo. Já o descarte de pneus velhos chega a atingir à marca de quase 800 milhões de unidades. No Brasil são produzidos cerca de 40 milhões de pneus/ano e quase metade dessa produção já é descartada nesse período. (ANIP, 2012).

Entidades e empresas que atuam no mercado de recauchutagem e reciclagem de pneus no Brasil têm empreendido várias ações para promover o desenvolvimento destas atividades. Entre elas podemos citar a criação de um Grupo de Trabalho composto de representantes destes órgãos, para atuar junto ao Inmetro - Instituto Nacional de Metrologia, Normatização e Qualidade Industrial na elaboração de uma norma que garanta a qualidade, tanto dos pneus novos quanto dos recauchutados, fabricados no Brasil. (IBAMA, 2011)

Além de ecologicamente correto, o reaproveitamento de borracha de pneus é um forte nicho de mercado, tendo em vista sua vasta gama de possibilidades. As aplicações deste tipo de material vão do recobrimento de áreas de lazer e quadras esportivas, tapetes para automóveis, colas e adesivos, tiras para indústrias de estofados até mesmo o uso em saltos e solados de sapatos.

Outra tendência de destinação é para finalidade de construção civil, quando passado pelo devido processo, podendo ser adequado para incorporação em cimentos, telhas e asfalto. Dessa forma, o presente trabalho se propõe a compreender a dinâmica de funcionamento da logística reversa de pneus inservíveis, os impactos ambientais do descarte incorreto e as possibilidades advindas do reaproveitamento dos materiais, bem como seus respectivos processos de recuperação.



## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 O QUE É UM PNEU?**

Pneu, ou pneumático, é um objeto circular, feito principalmente de borracha, utilizado na maioria dos meios de transporte para rodagem. Muito antes de sua invenção, cerca de 4 mil anos antes da Era Comum, o principal objeto utilizado eram rodas de madeira, fixadas em barras também de madeira em formato de cruz, com grandes dimensões, sendo utilizados em carroças. Já em torno do ano 1000 da Era Comum, surgem as primeiras rodas revestidas de metal, em carroças celtas, reduzindo o desgaste do disco de madeira. Depois disso, a próxima inovação viria de fato a criar o primeiro pneu, já no início do século XIX, ainda de borracha sólida, que seria seguido pela invenção do pneu inflável por John Thompson, em 1845, posteriormente aperfeiçoado e popularizado por John Dunlop em 1888. Com o passar dos anos, de forma conjunta com a própria indústria automotiva, os pneus foram aperfeiçoados, utilizando novos materiais e melhores estruturas que permitiram grande ganho de desempenho e durabilidade (AUTOEVOLUTION, 2009).

Na prática, então, o pneu tem a função de suportar o peso do veículo, reduzir o impacto com o solo, e transmitir a força do motor e de frenagem, sendo através dele que se mantém o veículo em movimento. Assim, sendo tal produto essencial para a forma como se conhece os transportes na atualidade, é natural que seja necessária sua produção em larga escala. Contudo, deve ser considerado com extrema cautela o fato de ser composto de materiais que causam intenso impacto ambiental quando descartados incorretamente, em especial na escala em que são produzidos e descartados pneus na atualidade.

#### **2.1.1 Componentes do pneu**

A Figura 1 apresentada a seguir esquematiza as partes componentes do pneu com legenda numérica para melhor entender a função de cada elemento.

Figura 1 - Componentes do Pneu



Fonte: LAGARINHOS, 2004

A banda de rodagem (1) está disposta sobre as lonas de reforço (2). Esta parte do pneu, que receberá os sulcos e marcas, ficará em contato com o pavimento. Na área de contato com o solo, a banda de rolamento tem de resistir a esforços muito importantes. A mistura que a constitui deve ser aderente em todos os tipos de solos, resistir ao desgaste, à abrasão, e aquecer o mínimo possível. As lonas de reforço (2) são feitas com cabos de aço muito finos, mas muito resistentes, cruzadas obliquamente e coladas uma sobre a outra. O cruzamento dos seus fios com os da carcaça forma triângulos indeformáveis. Denominada triangulação, esta disposição assegura o endurecimento da parte superior. Estas lonas que agarram à periferia do pneu têm uma função muito complexa. Devem ser suficientemente rígidas no sentido circunferencial do pneu para não esticarem sob o efeito da força centrífuga, de maneira a controlar perfeitamente o diâmetro do pneu, quaisquer que sejam as condições de utilização. Devem também ser rígidas transversalmente, para resistir aos esforços de deriva, mas ao mesmo tempo, suficientemente flexíveis no sentido vertical para absorver as deformações causadas pelas variações de superfície e outros obstáculos. Corda de aço para malhas de cintura (3). Cordas de aço de alta resistência que aumentam a retenção da forma e a estabilidade direcional. Reduzem também a resistência ao rolamento e ajudam a aumentar a quilometragem do pneu.

Já a carcaça é constituída por finos cabos de fibras têxteis (4), dispostas em ângulos retos e coladas na borracha. Estes cabos são um elemento chave da estrutura do pneu e permitem que o mesmo resista à pressão interna e mantendo também a forma do pneu. O revestimento interior (5) nada mais é que uma capa de borracha muito estanque

ao ar. Esta capa encontra-se no interior do pneu e funciona como câmara-de-ar. Na lateral da carcaça se encontra a parede lateral (6) que protege o pneu contra os choques que podem causar danos na mesma, como pequenos choques contra o passeio, buracos. etc. Uma borracha dura assegura a ligação entre o pneu e na parede lateral. A função do talão (7) é transmitir os torques motor e de travagem da roda à área de contato com o solo, junto com os aros de talão (8), que servem para fixar o pneu na roda e devem poder suportar até 1800 kg sem risco de ruptura. O núcleo de cordão (9) é um arame de aço, embutido em borracha, garantindo que o pneu assente firmemente sobre a roda (LAGARINHOS, 2004).

### 2.1.2 Materiais utilizados no pneu

Ao contrário do que se imagina popularmente, o pneu não é composto apenas por borracha natural, pois esta não confere todas as características necessárias, sendo o pneu composto por uma combinação de borracha natural, borrachas sintéticas (principalmente a borracha do copolímero butadieno-estireno, SBR), negro de fumo (para fortalecer a borracha, aumentar sua resistência mecânica e dissipar calor), óleos minerais (que conferem maleabilidade à borracha, enxofre (que é o agente de vulcanização, sendo que esta que previne maiores deformações decorrentes de temperatura), aço e óleos (WILLIANS, 2014).

A Tabela 1, a seguir, apresenta a composição química dos pneus em percentuais, diferenciando entre pneus de automóveis e pneus de carga.

Tabela 1 - Composição química média dos pneus

<b>Materiais</b>	<b>Pneu automóvel (%)</b>	<b>Pneu carga (%)</b>
<b>Borracha natural</b>	17	29
<b>Borracha sintética</b>	29	17
<b>Negro de fumo (carbono)</b>	27	27
<b>Aço</b>	13	13
<b>Tecidos, aceleradores e óleos</b>	14	14

Fonte: IBAMA 2012

### 2.1.3 Limites de uso/configuração como pneus inservíveis

Um pneu de automóvel possui uma utilização média de 40 mil quilômetros, podendo ter sua vida útil estendida com usos de menor impacto e por boas práticas. Ainda, ao atingir seu limite, é possível passar por processos de recondiçnamentos, tais como

recapagem, remodelagem, ressulcagem, e perucagem, permitindo continuidade de seu uso para rodagem. Por fim, quando não é mais possível recuperá-lo para uso em rodagem, é categorizado como inservível (LAGARINHOS, 2011).

A resolução CONAMA 2009 define o pneu inservível como “aquele que não mais se presta a processo de reforma que permita condição de rodagem adicional”. Assim, ao final da vida útil de um pneu, quando não é mais possível reformá-lo para continuar utilizando por mais algum tempo, esse é classificado como inservível e deve ser descartado de acordo com as regulações legais.

## 2.2 QUAIS OS IMPACTOS AMBIENTAIS DO DESCARTE INCORRETO DO PNEU?

Os pneus ocupam um papel de destaque na discussão dos seus impactos reais sobre o meio ambiente e sobre saúde pública. Os pneus contam com uma estrutura complexa que envolve, basicamente, borrachas, aço, tecido de náilon ou de poliéster. Os materiais de difícil decomposição não são biodegradáveis, sendo que a decomposição total dos pneus leva, aproximadamente, 600 anos (NOHARA, 2006)

Quando descartados em aterros sanitários o problema surge, pois os pneus absorvem os gases que são liberados pela decomposição dos outros resíduos, inchando e podendo até estourar, prejudicando a cobertura dos aterros e liberando enxofre, carbono e outros poluentes altamente tóxicos. Além disso, o material tem baixa compressibilidade, o que contribui com a redução da vida útil dos aterros (ODA; FERNANDES JÚNIOR, 2001).

Já quando este material é disposto em terrenos a céu aberto, problemas de saúde pública surgem, já que o acúmulo de água da chuva pode servir como criadouros para micro e macrovetores, como proliferação de insetos transmissores de doença tropicais, com destaque ao *Aedes aegypti*, transmissor da dengue (doença endêmica no Brasil), e como ambiente propício para proliferação de roedores que, entre inúmeras doenças, transmitem a leptospirose. Além disso, a queima de cada pneu médio libera cerca de 10 litros de óleo no solo, que penetram até atingir o lençol freático, contaminando a água do subsolo. A situação se agrava ao se pensar que a combustão envolverá outros resíduos presentes nos aterros, com composição desconhecida, podendo gerar reações químicas colaterais. O caso dos pneumáticos inservíveis abandonados ou dispostos inadequadamente em logradouros públicos, ou terrenos baldios, lixões, estoques a céu aberto, beiras de estradas e rios, entre outros locais abertos, requer uma atenção especial.

Esses resíduos sólidos, decididamente, representam sério risco ao meio ambiente e à saúde pública (RODRIGUES JORGE et al, 2004).

Legislações ambientais cada vez mais rígidas, como a Resolução CONAMA N°. 416, de 30 de setembro de 2009 e a Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei Federal no 12.305, de 2 agosto de 2010, trazem responsabilidades não só para os fabricantes e os importadores dos produtos, mas, também, para os consumidores e os revendedores, comerciantes e distribuidores o que significa que todos têm uma responsabilidade compartilhada sobre os produtos pós-consumo. Desta forma somente o reaproveitamento e remoção do resíduo do processo produtivo não são suficientes. As cadeias produtivas e revendedoras estão sendo responsabilizadas pelo produto até o final de sua vida útil. Logo, a logística reversa está ganhando importância nas operações das empresas.

Mesmo com as legislações obrigando as empresas, em alguns aspectos, a se preocuparem com o meio ambiente. pesquisas recentes realizadas pelo SEBRAE, CNI e BNDES revelam que 90% das empresas de grande porte e 35% das microempresas realizaram investimentos no setor ambiental independentemente de legislações ambientais ou de pressões governamentais, com objetivo de melhorar suas imagens nacional e internacionalmente (MENDES; CAETANO DA SILVA 2005).

Desse modo os benefícios da correta aplicação dessa prática podem gerar resultados ambientais e econômicos interessantes, principalmente em relação aos custos ambientais, que podem ser reduzidos envolvendo impactos ambientais de transporte, impactos de custo de energia consumida, poluição da água, poluição do ar, oportunidades de fabricação de produtos com matéria-prima mais próxima de seu estado natural e diminuição do descarte e custos do mesmo. Além disso, os benefícios da logística reversa não se restringem apenas aos aspectos ambientais. Outros benefícios envolvendo a implantação da logística reversa compreendem a geração de economia considerável de recursos na desmontagem e nos processos de reciclagem. Obtenção de maior eficiência na coleta e manutenção de peças defeituosas e sustentabilidade nas operações produtivas (YINGJIN et al, 2011).

## 2.3 QUAIS AS LEGISLAÇÕES EXISTENTES QUANTO A DESTINAÇÃO DE PNEUS INSERVÍVEIS?

### 2.3.1 Breve histórico da legislação

O setor de pneumáticos inservíveis é amparado pela Resolução CONAMA N° 416, de 30 de setembro de 2009, que trata da destinação final, ambientalmente adequada e segura de pneus inservíveis no país. A Resolução 416/09 aborda o princípio da responsabilidade pós-consumo e o cumprimento de seus dispositivos fundamentais para a proteção do meio ambiente e da saúde pública.

Conforme descrito no Art. 3° da Resolução 416/09, a partir da entrada em vigor desta resolução para cada pneu novo comercializado para o mercado de reposição, as empresas fabricantes ou importadoras deverão dar destinação adequada a um pneu inservível.

Diante desta nova necessidade de administração da coleta e destinação final do pneu inservível, o CONAMA teve a preocupação de esclarecer e classificar os pneus pelo seu uso, sendo assim a Resolução 416/09 Art. 2° faz a seguinte classificação:

I – 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;

II – 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;

III – 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;

IV – Pneu reformado: pneu usado que foi submetido a processo de reutilização da carcaça com o fim específico de aumentar sua vida útil, como:

a) recapagem: processo pelo qual um pneu usado é reformado pela substituição de sua banda de rodagem;

b) recauchutagem: processo pelo qual um pneu usado é reformado pela substituição de sua banda de rodagem e dos ombros; e

c) remoldagem: processo pelo qual um pneu usado é reformado pela substituição de sua banda de rodagem, ombros e toda a superfície de seus flancos.

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

Considerando que os pneus usados devem ser preferencialmente reutilizados, reformados e reciclados antes de sua destinação adequada e segura.

As legislações ambientais envolvem diferentes aspectos do ciclo de vida útil de um produto (ou a dos produtos que o constituem), desde a fabricação e o uso de matérias-primas virgens até a sua disposição final (LEITE, 2009).

Diante do Art. 7º os fabricantes e importadores de pneus novos deverão elaborar um plano de gerenciamento de coleta, armazenamento e destinação de pneus inservíveis (PGP), no prazo de 6 meses a partir da publicação desta Resolução, o qual deverá ser amplamente divulgado e disponibilizado aos órgãos do Sistema Nacional de Meio Ambiente-SISNAMA. Tendo entre algumas estratégias programas educacionais a serem desenvolvidos junto aos agentes envolvidos e, principalmente, junto aos consumidores; como também pontos de coletas e os mecanismos de coleta e destinação; dentre outras estratégias descritas na Resolução 416/09.

No Art. 8º expressa que os fabricantes e importadores de pneus novos, de forma compartilhada ou isoladamente, deverão implementar pontos de coleta de pneus usados, podendo envolver os pontos de comercialização de pneus, os municípios, borracheiros e outros. De maneira que os fabricantes e importadores de pneus novos deverão implantar, nos municípios acima de 100.000 (cem mil) habitantes, pelo menos um ponto de coleta no prazo máximo de até 1 ano, a partir da publicação desta Resolução.

Considerando que a importação de pneumáticos usados é proibida pelas Resoluções nº 23, de 12 de dezembro de 1996, e 235, de 7 de janeiro de 1998, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA.

De acordo com a Resolução, as empresas fabricantes e produtoras tiveram prazos de coleta e metas progressivas para o setor cumprir, de modo a liquidar com o passivo ambiental de pneus. Isso obrigou as empresas desse segmento implementar programas de logística reversa para a captação e o retorno dos pneus inservíveis às empresas capacitadas ao reprocessamento para se ter a destinação adequada.

Com relação à Resolução 416/09 do CONAMA, os fabricantes e importadores devem comprovar com documentação as quantidades de pneus inservíveis que estão enviando para reciclagem, informando os nomes das empresas de origem e destinatárias.

Por meio desta Resolução o Poder Público descreve o apoio a necessidade de gerenciamento dos pneus inservíveis, tendo como preocupação a destinação inadequada de maneira desequilibrada, assim por meio de diretrizes de gestão ambiental descreve subsídios que fomenta e incentiva agentes voltadas para este segmento reutilização e reciclagem de pneumáticos e amparo legal para seu desenvolvimento.

### **2.3.2 Outras legislações**

No Brasil a geração, manuseio e reaproveitamento de resíduos são regulamentados por leis federais, estaduais e municipais que devem ser interpretadas conjuntamente, tais leis como a Lei Nº 12.305, de 2 de agosto de 2010 que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos e a Lei Nº 12.300, de 16 de março de 2006. Sendo fiscalizadas pelos órgãos governamentais FNMA, IBAMA e CONAMA.

As normas ambientais estão previstas na ISO 14.000 e a disposição dos resíduos é regida pela NBR 10.004. Todos estes documentos especificam como devem ser aplicadas e avaliadas no âmbito dos direitos do Estado e dos cidadãos; previstas na Constituição Federal Brasileira; e relacionadas à saúde e ao meio ambiente, sendo obrigação dos Estados e Municípios a proteção ao meio ambiente e o combate à poluição em qualquer uma de suas formas.

Aos fabricantes de pneus, é atribuída a responsabilidade pelo gerenciamento de resíduos gerados, o qual deve estar de acordo a Política Nacional de Resíduos Sólidos, que proíbe o descarte de pneumáticos inservíveis em aterros sanitários, no mar, em terrenos baldios, margem de vias públicas. Sendo proibida também a queima de pneus, exceto para obtenção de energia, efetuada por métodos insuscetíveis de causar danos à saúde humana e ambiental. Estas diretrizes expressas no Plano de Gerenciamento de Resíduos Especiais, aprovado pelo SISNAMA.

A União elaborará junto ao Ministério do Meio Ambiente, normas diretrizes e metas para que se tenha o diagnóstico da situação atual dos resíduos sólidos. Dessa forma deve permitir o acompanhamento para a redução desses materiais, inclusão social e o incentivo para viabilizar projetos que tem como base a redução dos lixões, Art. 15º.

Considera também em legislação nacional alterada em 2 de agosto de 2010 Lei 12.305, onde foram sancionadas diretrizes relativas à gestão e gerenciamento da Política



Nacional dos Resíduos Sólidos. Dentre as diretrizes se encontra amparo legal para segmento de empresas de reciclagem e toda sua esfera de atuação ao estímulo a padrões sustentáveis - Art. 6 incisos VI e VII e Art. 7º.

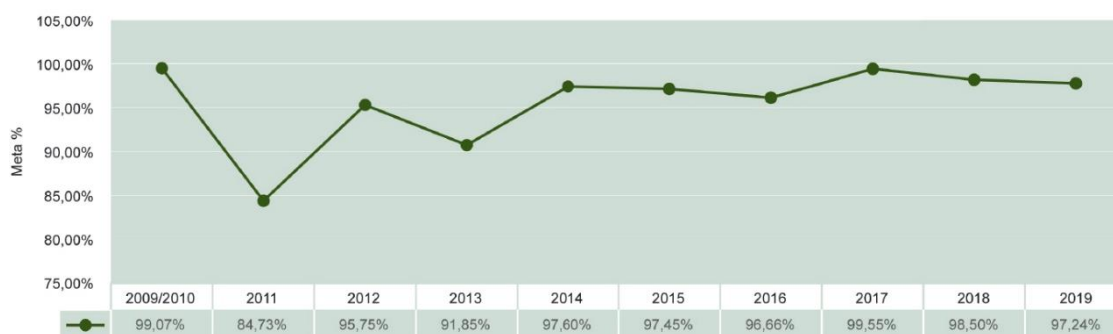
A lei nacional 12.305/10 descreve em seu Art. 8 os incentivos fiscais, financeiros e creditícios tendo em vista incentivos a criação e desenvolvimento de cooperativas ou associações que visam à produção adequada dos materiais recicláveis tendo grande importância para esse mercado, assim em guarda os padrões da qualidade do meio ambiente para fiscalização, cadastro dos órgãos competentes.

A partir dessas regulamentações surgiram vários programas de reciclagem, com intuito de aproveitar o resíduo como matéria-prima para diversas aplicações. Entretanto ainda não estão disponíveis dados atualizados sobre o seu descarte diário ou sua quantificação como reciclados diariamente.

### 2.3.3 Cumprimento da legislação vigente

O cumprimento da legislação vigente no que se refere à destinação de pneus inservíveis é monitorado pelo IBAMA, e divulgado em seu relatório anual de pneumáticos. O relatório 2020, que apresenta os dados consolidados do cumprimento de metas até 2019 permite observar que desde a última atualização da regulação CONAMA o cumprimento da meta tem se mantido elevado, com ligeiras oscilações que refletem pontos que ainda podem ser melhorados pela cadeia de destinação do pneu inservível para que a meta possa ser atingida em sua totalidade. A seguir observa-se Figura 2 de percentual de cumprimento da meta de destinação nacional para a década compreendida entre 2009 e 2019.

Figura 2 - Percentual de cumprimento de meta de destinação nacional (2009-2019)



Fonte: Extraído de IBAMA 2021

### **3 QUAIS AS ESTRATÉGIAS ADOTADAS PELAS EMPRESAS PRODUTORAS E REVENDEDORAS PARA ADEQUAÇÃO AS NORMAS DE DESTINAÇÃO?**

#### **3.1 LOGÍSTICA REVERSA**

Logística, embora seja um conceito simples, reflete claramente seu próprio propósito. Portanto, atividades como transporte, armazenagem e processamento de pedidos são consideradas atividades que também podem agregar valor ao empreendimento, além de que todo o processo (se realizado de forma eficaz) se tornará um fato diferenciador. Portanto, para obter resultados, a logística deve ser posicionada como um conjunto de atividades sequenciais, durante as quais a cadeia necessita dos melhores resultados.

De acordo com Dornier et al. (2000, p. 39), logística é o gerenciamento de processos entre funções de negócios. A definição atual de logística cobre uma faixa de fluxo maior do que no passado. Tradicionalmente, as empresas incluem a simples entrada de matéria-prima ou a saída de produtos acabados na definição da logística. No entanto, hoje, a definição foi estendida para incluir todas as formas de produto e transferência de informações.

Atualmente, no novo conceito de cadeia de varejo, logística e produtos estão intimamente ligados. Todo o processo logístico, desde a matéria-prima até o consumidor final, é considerado uma única entidade sistemática, onde cada parte do sistema depende de outras partes e deve ser ajustada para o todo (NOVAES, 2015).

As embalagens e recipientes utilizados na cadeia produtiva, bem como o uso difundido de pneus e produtos de baixa duração ou vida útil curta (como pneus) representam um desafio para a área de produção, pois o destino final desses produtos é a única responsabilidade dos produtores da empresa. Até recentemente, o reaproveitamento e gerenciamento final desses materiais era uma grande dificuldade para o departamento de produção, pois essas etapas não agregavam valor ao departamento. Devido ao crescimento do comércio global e à diferença de taxas entre as diferentes sociedades, a empresa é obrigada a se preocupar com o fim da vida útil do produto, mesmo porque as sociedades não mais se dispõem a arcar com a responsabilidade da destinação final dos produtos ou dos resíduos e efluentes industriais (PIRES, 2004).

Segundo Silva, Monteiro e Moita Neto (2012), logística reversa pode ser dividida em duas áreas de atuação: logística reversa de pós-venda e logística reversa de pós-

consumo. A primeira pode ser entendida como a área da logística reversa que trata do planejamento, do controle e da destinação dos bens sem uso ou com pouco uso, que retornam à cadeia de distribuição por diversos motivos, como: devoluções por problemas de garantia, avarias durante o transporte, prazo de validade expirado, entre outros. A logística reversa de pós-consumo pode ser entendida como a área da logística reversa que trata dos bens no final de sua vida útil, dos bens usados com possibilidade de reutilização (embalagens) e os resíduos industriais, que devem retornar às indústrias para descarte final ambientalmente correto, foco do estudo deste trabalho (SILVA; MONTEIRO; MOITA NETO, 2012).

Denomina-se de logística reversa de pós-venda a específica área de atuação que se ocupa do equacionamento e operacionalização do fluxo físico e das informações logísticas correspondentes de bens de pós-venda, sem uso ou com pouco uso, que por diferentes motivos retornam aos diferentes elos da cadeia de distribuição direta, constituindo uma parte dos canais reversos pelos quais fluem estes produtos. Seu objetivo estratégico é o de agregar valor a um produto (LEITE, 1999)

Denominaremos de logística reserva de pós-consumo a área de atuação da Logística Reversa que igualmente equaciona e operacionaliza o fluxo físico e as informações correspondentes de bens de pós-consumo descartados pela sociedade em geral, que retornam ao ciclo de negócios ou ao ciclo produtivo através de canais de distribuição reversos específicos. Constituem-se bens de pós-consumo os produtos em fim de vida útil ou usados com possibilidade de utilização e os resíduos industriais em geral. Seu objetivo estratégico é o de agregar valor a um produto logístico constituído por bens inservíveis ao proprietário original, ou que ainda possuam condições de utilização, por produtos descartados, por terem atingido o fim de vida útil e por resíduos industriais (LEITE, 1999).

Em Rogers e Tibben-Lembke, a Logística Reversa é definida como:

Processo de planejamento, implementação e controle da eficiência, do custo efetivo do fluxo de matérias-primas, estoques de processo, produtos acabados e as respectivas informações, desde o ponto de consumo até o ponto de origem, com o propósito de recapturar valor ou adequar o seu destino" (ROGERS; TIBBEN-LEMBKE, 1998, p. 2).

Portanto, a Logística Reversa poder ser definida como processo de planejamento, implementação e controle dos fluxos e informações relacionadas à logística de retorno de bens pós-venda e pós-consumo, viabilizando o ciclo de negócios dentro do processo produtivo, por meio de canais de distribuição reversa, onde haverá agregação de valor

económico, logístico, legal, de imagem corporativa, entre outros (LEITE, 1999). O foco da Logística Reversa é a reintrodução dos produtos ou matérias primas na cadeia de valor, através do ciclo de negócios ou de produção, sendo o descarte a última opção a ser considerada, ou jamais considerada. Adicionalmente, Leite (2012) apresenta as estratégias de logística reversa associadas aos potenciais ganhos de competitividade, que estão sintetizados no Quadro 1 apresentado a seguir.

Quadro 1 - Estratégias de logística reversa e os respectivos ganhos de competitividade.

<b>Estratégias de Logística Reversa</b>	<b>Ganhos de Competitividade</b>
Flexibilização estratégica do retorno dos produtos	Fidelização de clientes  Imagem corporativa
Realocação de estoques em excesso	Custos e de serviços ao cliente
Recaptura de valor otimizado do produto retornado	Competitividade de custos
Busca de valor na prestação de serviços de pós-venda	Competitividade por serviços, de custos e imagem empresarial
Reaproveitamento de componentes	Custos operacionais: economias fabricação de produto  Imagem corporativa
Reaproveitamento de materiais constituintes	Custos operacionais: economias confecção de produto
Demonstração de responsabilidade empresarial	Imagem corporativa
Liberação de área de loja	Competitividade de custos
Manutenção de produtos frescos em suas lojas	Competitividade de custos e de imagem corporativa
Recaptura de valor dos estoques remanescentes	Competitividade de custos

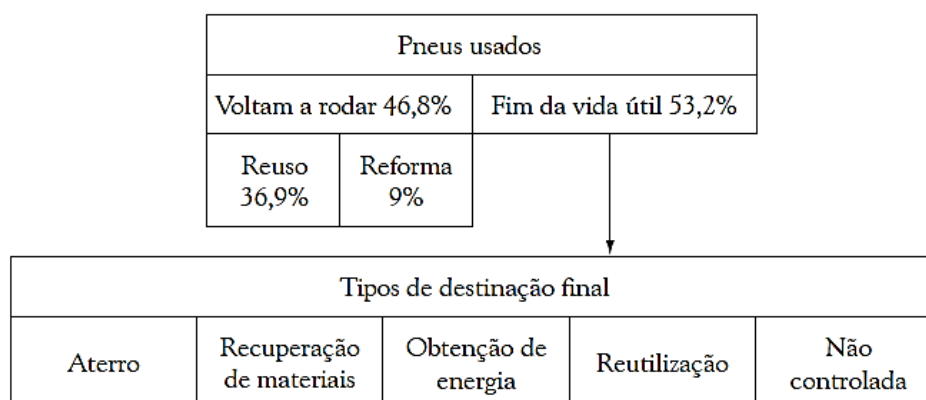
Fonte: Leite (2012)

Uma definição mais atual de Logística Reversa encontra abrigo na Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS) - Lei Federal nº 12.305/2010, que a define como um instrumento de desenvolvimento económico e social caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada. Portanto, motivada pela proposição de um melhor destino aos materiais pós-consumo, a logística reversa tem como finalidade última atender às novas exigências ambientalmente corretas da sociedade (BRASIL, 2010).

### 3.2 PROCESSOS DE RECICLAGEM PARA USO DE RESÍDUO COMO MATÉRIA PRIMA

Os pneus inservíveis podem seguir três caminhos: os pneus convencionais são destinados para as empresas que realizam a laminação e transformação da borracha em artefatos diversos, como solados, cintas de sofá, tapetes para carros, etc; os pneus radiais, na maior parte das vezes, são triturados e depois encaminhados para empresas produtoras de cimento, para queima nos fornos de clínquer, ou processamento de xisto betuminoso.

Figura 3 - Destinos possíveis para pneus usados e inservíveis



Fonte: Faria (2006)

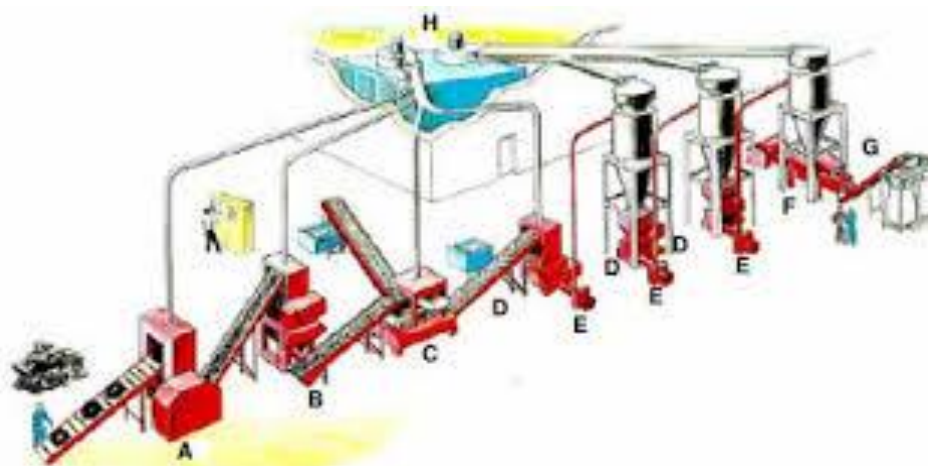
Os destinos possíveis para os pneus inservíveis são: deposição em lixões ou aterros sanitários; recuperação dos materiais pela produção de artefatos de borracha ou aproveitamento em materiais não poliméricos (asfalto, borracha, Concreto Deformável e Isolante - Concreto DI®, etc); reutilização em playground, drenagem de águas pluviais, recifes artificiais marinhos, flutuantes em portos, proteção nas estradas, etc; utilização para geração de energia através da queima ou obtenção de óleos e gases derivados do pneu; além de outras ações não controladas como armazenamento nas residências.

#### 3.2.1 Trituração

Os processos mais utilizados para a trituração de pneus são à temperatura ambiente ou com resfriamento criogênico. No Brasil o processo mais utilizado é a trituração à temperatura ambiente (LAGARINHOS; TENÓRIO, 2009).

O processo trituração à temperatura ambiente 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. Em muitas aplicações são solicitadas para materiais finos, na faixa de 0,6 a 2 mm. A Figura 4 a seguir representa o processo em temperatura ambiente (RESCHNER, 2008).

Figura 4 - Representação do processo em temperatura ambiente



Fonte: RESCHNER (2008)

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. A Figura 5 a seguir representa o processo criogênico (LAGARINHOS; TENÓRIO, 2009).

Figura 5 - Representação das etapas do processo criogênico



Fonte: RESCHNER (2008)

### 3.2.2 Desvulcanização

O processo de desvulcanização envolve duas etapas distintas: a redução de tamanho e a quebra de ligações químicas, que pode ser feita através de quatro processos com custos e tecnologias bem diferenciados.

No Brasil, o processo de desvulcanização utilizado comercialmente é o de desvulcanização química ou processo de regeneração da borracha. Existem várias empresas no país que utilizam os pneus inservíveis como matéria-prima para a regeneração de borracha. A regeneração é um processo de desvulcanização no qual os pneus, depois de triturados, são submetidos a temperatura e pressão, e recebem oxigênio e vapor de produtos químicos, como álcalis e óleos minerais, dentro de uma autoclave rotativa. Os pneus usados são cortados em lascas ou raspas que passam por um processo de moagem mecânica, no qual são transformados em pó de borracha e tratados por um sistema de separação com peneiras e cilindros magnéticos. Em seguida, em autoclaves rotativas que utilizam o vapor saturado, o material recebe oxigênio e é submetido a uma temperatura de 180°C e a uma pressão de 15 bar, provocando o rompimento das pontes de [enxofre-enxofre] e [carbono-enxofre] entre as cadeias poliméricas. Assim, a borracha

é transformada em material passível de novas formulações. A massa de borracha resultante desse processo sofre uma trituração mecânica, aumentando a viscosidade para depois ser prensada. No final do processo, o material ganha a forma de fardos de borracha. Essa borracha pode ser utilizada na formulação de novos artefatos com demanda e aplicações limitadas, porque possui propriedades mecânicas inferiores em comparação à borracha original. O material regenerado tem várias aplicações, tais como: cobrir áreas de lazer e quadras esportivas, tapetes para automóveis, passadeiras, saltos e solados de sapatos, colas e adesivos, câmaras de ar utilizadas em pneus convencionais ou diagonais, rodos metálicos, tiras para indústrias de estofados, entre outras (MORANDI, 1992). Em 2019, foram utilizadas 17,5 mil toneladas, o equivalente a 3,5 milhões de pneus de automóveis nesse processo.

No processo de desvulcanização por ultrassom, a borracha dos pneus é triturada e suas partículas são carregadas em uma caçamba, alimentando uma extrusora, que comprime e estica a borracha alternativamente. A ação mecânica aquece e amolece a borracha. O sistema de ultrassom é instalado no centro ou no ponto de descarga da extrusora, ou seja, a borracha nessas regiões está submetida à energia ultrassônica. Na saída da extrusora, existe um tanque com água para o resfriamento da borracha. A combinação de calor, pressão e ação mecânica são suficientes para desvulcanizar a borracha.

O conceito de utilização de bactérias para a desvulcanização de resíduos de borracha tem sido investigado nos últimos 30 anos. No processo de desvulcanização biológico ou por bactérias, as partículas de borracha são expostas em uma solução aquosa com bactérias que consomem o enxofre e compostos de enxofre como, por exemplo, o thibacillus, rodococcus e o sulfolobus. Com a utilização desse processo, podem ser incorporadas à fabricação de pneus novos 15% de borracha reciclada sem alterar a qualidade dos pneus produzidos (REIS; FERRÃO, 2000; PACIFIC NORTHWEST NATIONAL LABORATORY, 2006).

O processo de desvulcanização por micro-ondas aplica energia térmica rápida e uniformemente sobre a borracha. Entretanto, a borracha vulcanizada para ser utilizada no processo de desvulcanização por micro-ondas deve ter uma estrutura polar que permita a absorção da energia a uma taxa adequada. Porém, a borracha da grande maioria dos pneus não possui essa estrutura polar, limitando a sua aplicação (ADHIKARI; DE; MAITI, 2000).



### 3.2.3 Laminação

O processo de laminação consiste em diversas operações de cortes efetuadas em pneus inservíveis, para extrair lâminas e trechos de contornos definidos. As empresas que trabalham com o processo de laminação de pneus possuem uma estrutura de coleta de pneus convencionais ou diagonais. Esses pneus não possuem, em sua construção, as malhas de aço, o que facilita a sua reciclagem. Alguns laminadores também estão utilizando pneus radiais inservíveis para a laminação.

Os talões dos pneus radiais e diagonais e as bandas de rodagem com lonas de aço dos pneus radiais não são aproveitados no processo de laminação, devido à dificuldade da realização do corte e devem ser descartados. Os talões e bandas de rodagem devem ser reciclados em um dos processos anteriormente descritos. Os pneus laminados são utilizados em diversas aplicações tais como: indústria de estofados, indústria de calçados, fábricas de rodos, tubos para águas pluviais, tubos para combate a erosões e passagem de níveis, solados, saltos e palmilhas de pneus, percintas para sofás, solados de calçados, tiras para móveis, sofás e poltronas, cestos, e inúmeras outras aplicações (INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS, 2004).

O processo de laminação de pneus é uma atividade de baixo custo e que não causa impactos ao meio ambiente, desde que os resíduos gerados pelo processo sejam corretamente descartados e devidamente acondicionados em cada etapa. A tendência para esse tipo de pneu é a diminuição gradativa da produção em todo o mundo, com o incremento da fabricação dos pneus radiais.

## 3.3 PROCESSAMENTO NA INDÚSTRIA DE CIMENTO

Pneus usados são empregados para a produção de energia desde 1975, tendo origem na Alemanha. No Brasil esta tecnologia é muito utilizada em indústrias cimenteiras, sendo que apenas em 2009 foram processados 52,3 milhões de pneus inservíveis em território nacional. Contudo, as cimenteiras que almejam este processo devem possuir a autorização de órgãos de proteção ambiental de acordo com a legislação vigente. A referência [1] explica que cimenteiras estocam pneus inservíveis de duas formas: (A) pneus inteiros são estocados em galpões impermeabilizados e de acordo com os padrões de segurança vigente; (B) pneus triturados são estocados em silos de armazenagem. Sendo que pneus triturados em baixa granulometria apresentam uma maior facilidade de combustão, provendo a alimentação regular dos fornos de clínquer,

transporte simples por esteiras e um maior nível de substituição de combustíveis fósseis. Cada quilograma (kg) de pneu produz entre 8,3 a 8,5 quilowatts (kW) de energia por hora, ou seja, isto representa um acréscimo de 30% de energia para cada quilo de carvão ou madeira queimados.

O melhor método de coprocessamento de pneus ocorre em cimenteiras; isto ocorre porque os fornos de cimento atingem temperaturas de 1450°C, o que transforma quimicamente as substâncias perigosas contidas nos pneus em resíduos de menor periculosidade. Por fim, os resíduos que sobram após a combustão da borracha são misturados ao cimento, ficando encapsulados em concentrações aceitáveis. No Brasil, a principal empresa que investe nesta tecnologia é a Votorantim Cimentos que possui diversas unidades espalhadas pelo país, seguida por empresas estrangeiras instaladas em território nacional, como a Lafarge e Holdebank, que investem milhões de dólares na adaptação de seus fornos de clínquer para o coprocessamento de pneumáticos triturados.

Dentre as vantagens da utilização de pneus inservíveis na produção de energia em cimenteiras estão: a total eliminação do pneu usado (não são produzidos resíduos); o grande volume de pneus processados; a substituição parcial da utilização de combustíveis fósseis, como carvão e madeira; conservação de recursos naturais (combustíveis fósseis); não requer nenhum treinamento prévio, ou pré-processos; não há necessidade de controle extra para emissões gasosas, estando de acordo com a legislação vigente. Como desvantagem, os pneus podem possuir em sua composição uma série de substâncias tóxicas, como óxidos de enxofre, ácido sulfídrico, óxido de nitrogênio e ácidos de halogênio, entre outros. Estas substâncias podem causar uma série de problemas relacionados com a saúde da população, como problemas respiratórios, doenças cardiovasculares e também pode ocasionar a chuva ácida, que podem danificar os corpos hídricos, causando a mortalidade de animais aquáticos e também trazer danos em monumentos.

### **3.3.1 Pavimentação**

Conforme Martins, (2004), uma das características e vantagens do asfalto como material de construção, engenharia e manutenção é a sua grande versatilidade. Apesar de ser um material semisólido a temperaturas normais, o asfalto pode ser liquefeito pela aplicação de calor, dissolvendo-o em solventes, ou emulsificação.

De acordo com Ceratti et al. (2004), na Suécia, na década de sessenta, duas empresas começaram a produzir um composto que utilizava uma mistura previamente

estudada e analisada de borracha de pneus e tecidos usados. A borracha era adicionada à mistura na condição de partículas pequenas para operar como agregado. Em virtude da grande relevância ambiental em se encontrar opções para o consumo dos pneus usados, em 1991 o *Intermodal Surface Transportation Efficiency Act* – EUA instituiu a utilização de borracha de pneus em pavimentos asfálticos.

Conforme Di Giulio (2007), o primeiro grande diferencial e tido como impacto positivo na utilização da borracha em misturas asfálticas está no ambiente, uma vez que a recuperação de piso neste formato, onde se utiliza cerca de mil pneus por quilômetro, o que diminui o depósito dos pneus em aterros ou fora deles.

Para Ferrari et al. (2007), atualmente é necessário um processamento para fazer a utilização de pneus como um aditivo ou modificador. O aço e as fibras devem ser removidos dos pneus e, em seguida, o pneu remanescente deve ser reduzido em tamanho para partículas pequenas para a mistura com o aglutinante de asfalto.

Conforme Pivoto (2007), a borracha utilizada no ligante asfalto-borracha pode ser derivada de pneus de automóveis ou caminhões. Normalmente, pneus de automóveis tem em sua composição algo entre 16 a 20% de borracha natural e de 26 a 31% composto de borracha sintética. Ao mesmo tempo os pneus de caminhões têm em sua composição algo em torno 31 a 33% de borracha natural e de 16 a 21% de borracha sintética.

A borracha oriunda dos pneus usados pode ser empregada como parte do material ligante, ou borracha asfáltica, ou como concreto de asfalto alterado com borracha. As camadas seladoras de borracha asfáltica consomem cerca de 1000 pneus por quilômetro selado de estrada com duas pistas (LEÃO, 2013).

É importante reconhecer que nos dias atuais o processo de modificação da borracha de pneus é altamente controlado. O processo não é mais apenas moagem de um estoque de pneus velhos e adicionando a borracha ao asfalto quente. Para Oda (2015), o processo de manuseio e retalhamento é cuidadosamente planejado e monitorado para produzir um material de borracha limpa e altamente consistente. A borracha fragmentada é produzida através de um processo de moagem de pneus de borracha em partículas muito pequenas, onde o teor da borracha tem uma variação de 15% a 20% em relação ao peso total da mistura, diluentes e alguns aditivos especiais quando estes forem necessários.

Para Beduschi (2015), agregados (ou agregados minerais) são materiais como areia, cascalho, brita, ou pó de pedra. Adequadamente selecionado os agregados com o meio de cimentação asfáltico para formar pavimentos. Agregados são os principais

componentes de suporte de carga de um pavimento de concreto de asfalto. Eles formam um total de 90 a 95% da mistura, em peso, e 75 a 85% em volume.

No processo de moagem os pneus são cortados em pedaços menores, com lâminas de corte afiadas. Os pedaços menores são então passados através trituradores que moem e rasgam a borracha em partículas ainda menores. A moagem produz tamanhos que variam de 75  $\mu\text{m}$ , a 4 - 5 mm (ODA, 2015).

É verdade que o asfalto-borracha deve ser aquecido a temperaturas maiores, mas é sabido que não causa nenhum mal à saúde dos trabalhadores e que ainda não causa poluição em excesso. Contudo é necessário que os cuidados habituais sejam tomados. Conforme Cury et al. (2015), a utilização de misturas com asfalto emborrachado tem evidenciado que estas apresentam um desempenho muito superior às das misturas comuns. Desta feita, as especificações originárias dos Estados Unidos chegam a possibilitar uma redução de 50% na espessura das camadas betuminosas quando este produto é utilizado.

Oda (2015) cita que a borracha não é um substituto ou uma substituição de polímero, mas funciona como um acessório de durabilidade. A borracha não fornece melhorias elastoméricas, mas diminui o envelhecimento prematuro e rachaduras, diminuindo a degradação do piso asfáltico aumentando assim sua durabilidade. A borracha bem misturada com os ligantes ou incluída nos preenchimentos por qualquer dos procedimentos de integração, altera os atributos do pavimento, proporcionando-lhe características favoráveis ao meio ambiente.

#### 4 CONCLUSÃO

O presente trabalho permitiu observar, primeiramente, a eficácia de uma legislação reguladora devidamente alinhada à realidade do setor produtivo. Dessa forma, desde a implementação da resolução CONAMA de 2009 as metas de destinação correta têm sido atendidas de forma praticamente integral.

Contudo, o correto retorno de pneus inservíveis, aliado à produção crescente de pneus novos, no contexto da expansão do mercado automotivo, levanta a necessidade de desenvolvimento tecnológico constante para reaproveitamento da matéria-prima retornada. Ao longo do trabalho foram observadas diversas possibilidades, em diferentes estágios de implementação tecnológica e industrial, o que permite afirmar que há espaço na indústria para absorção do reaproveitamento de materiais de pneus, em especial no volume de matéria prima demandada pela indústria de construção civil.

Ainda, percebeu-se que uma limitação que deverá ser enfrentada na próxima fase de desenvolvimento do setor é a falta de padronização, devido ao aproveitamento conjunto de pneus de diferentes composições, gerando, portanto, resultados despadronizados no produto final. Tal problema pode ser resolvido de forma conjunta pelo avanço tecnológico que permita minimizar tais impactos, e por regulamentações que orientem uma melhor separação na cadeia de logística reversa, levando a processamento separado de pneus inservíveis de diferentes composições, para que cada tipo possa ser melhor aproveitado na destinação final onde sua composição seja mais eficiente.

Atualmente, além de todos os destinos descritos nesse trabalho, podemos citar algumas aplicações que estão ganhando bastante força recentemente. Uma aplicação é um compósito de polipropileno com borracha triturada de pneus inservíveis para fabricação de um encapsulamento de motores automotivos. Um dos pontos mais importantes na criação desse projeto seria reduzir a poluição sonora e do ar e principalmente diminuir o a quantidade de pneus descartados incorretamente no meio ambiente. As vantagens desse compósito em relação a outros materiais que existem para essa aplicação é uma redução de peso e economicamente mais barato, com uma redução de respectivamente de 53% e 20%.

Uma alternativa diferente que não foi citada nesse trabalho foi um estudo realizado, foi um desenvolvimento de um concreto com partícula de borracha de pneus com areia com um teor de 15%. Porém como as borrachas são de origem orgânica e poucos compatíveis com areia e cimento, foi necessário a junção de agente

compatibilizantes, compostos por grupos funcionais do tipo anidrido e epóxido, formando ligações estáveis. Essa junção de materiais, formando esse concreto foi possível observar a melhora de absorção no impacto na caminhada, proporcionado mais conforto e reduzindo os riscos de lesões. Além disso esse tipo de concreto seria um material muito viável para a utilização em calçadas arborizadas, para a construção ambientes e proporcionaria grandes efeitos como reduzindo rachaduras na pavimentação devido as raízes das arvores e para absorver grandes vibrações evitando danos físicos a edificação respectivamente.

## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BEDUSCHI, E. F. S. **Utilização de pneus inservíveis na composição da massa asfáltica.** Disponível em:

<[http://www.uniedu.sed.sc.gov.br/wpcontent/uploads/2014/04/eliane\\_fatima\\_strapazzo\\_n1.pdf](http://www.uniedu.sed.sc.gov.br/wpcontent/uploads/2014/04/eliane_fatima_strapazzo_n1.pdf)> Acesso em: 02 out. 2021.

BRASIL. **Lei n. 12.305 de 02 de agosto de 2010.** Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a lei n.9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília DF.

CERATTI, J. A.; CRUZ, L. L.; NUÑEZ, W.P. **Estudo Comparativo do Desempenho de um Recapeamento Utilizando Asfalto-Borracha em Pavimento Flexível.** 118 f. Tese de Doutorado. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2004.

CONAMA. **Resolução CONAMA nº 258, de 26 de agosto 1999.** Dispõe sobre a coleta e destinação final de pneus inservíveis. Brasília: CONAMA, 1999.

CONAMA. **Resolução CONAMA nº 301, de 21 de março de 2002** Altera a Resolução no 258/99 (acrescenta considerandos, altera os arts. 1º, 2º, 3º, 11 e 12, e acrescenta o art. 12-A). Brasília: CONAMA, 2002.

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. Brasília: CONAMA, 2009.

DI GIULIO, G. Vantagens ambientais e econômicas no uso de borracha em asfalto.

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.

DORNIER, P-P; ERNST, R.; FENDER, M.; KOUVELIS, P. Logística e operações globais. 2000.

GOODYEAR DO BRASIL. Edição Especial 50 anos. **Revista Goodyear**, São Paulo, p.10-11, 1989.

GOODYEAR. **New Goodyear Innovation Could Make Tire Pumps Obsolete.** 2011. Disponível em:

<[http://www.goodyear.com/cfmx/web/corporate/media/news/story.cfm?a\\_id=559/](http://www.goodyear.com/cfmx/web/corporate/media/news/story.cfm?a_id=559/)>. Acesso em: 02 out. 2021.

IBAMA. **Relatório IBAMA de Pneumáticos 2020.** Brasília: IBAMA, 2021. Disponível em: [http://www.ibama.gov.br/phocadownload/pneus/relatoriopneumaticos/2021-03-03-%20Ibama-Relatorio\\_Pneumaticos\\_2020\\_com\\_capa\\_\\_\\_terceira\\_versao.pdf](http://www.ibama.gov.br/phocadownload/pneus/relatoriopneumaticos/2021-03-03-%20Ibama-Relatorio_Pneumaticos_2020_com_capa___terceira_versao.pdf). Acesso em: 02 out. 2021.

INFOPNEUS. **História do Pneu.** Disponível em:

<<http://www.infopneus.com.br/historia-do-pneu/>>. Acesso em: 02 out. 2021.

LAGARINHOS, C. A. F., **Reciclagem de Pneus: Análise do Impacto da Legislação Ambiental Através da Logística Reversa**. 2011. 293p. Tese de Doutorado - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

LEÃO, L. F. C. Benefícios da utilização de borracha granulada em obras públicas. **.Inovação Uniemp**, Campinas, v. 3, n. 3, jun. 2007.

LEITE, P. R. Direcionadores estratégicos em programas de logística reversa no Brasil. **Revista Alcance – Eletrônica**, Biguaçu, v. 9, n. 2, p. 182-201, 2012.

LEITE, P. R. **Logística reversa: meio ambiente e competitividade**. 2a ed. São Paulo: Pearson, 2009.

MARTINS, H. A. F. **A Utilização da borracha de pneus na pavimentação asfáltica**. 2004. 115 p. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, 2004.

ODA, S. Aplicação De Asfalto-Borracha na Bahia. In: **3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás**. 22 f. Bahia, 2015.

PIRES, S. R. I. **Gestão da Cadeia de Suprimentos: conceitos, estratégias, práticas e casos**. São Paulo: Atlas, 2007.

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

RESCHNER, K. **Scrap Tire Recycling Page**. Disponível em: <<http://www.entire-engineering.de>> Acesso em: 02 out. 2021.

ROGERS, D.; TIBBEN-LEMBKE, R. **Going Backwards: reverse logistics trends and practices**. Reno: University of Nevada, 1998.

SILVA, E. A.; MONTEIRO, M. S. L.; MOITA NETO, J. M. Mercados para logística reversa. In: José de Ribamar de Sousa Rocha; Roseli Farias Melo de Barros; José Luís Lopes Araújo. (Org.). **Ambiente, Sociedade e Desenvolvimento no Trópico Ecotonal do Nordeste**. Teresina: EDUFPI, 2012.

WILLIAMS, P. T.; BESLER, S.; TAYLOR, D. T. The Pyrolysis of Scrap Automotive Tyres. **Fuel**, v. 69, n. 12, p. 1474-1482, 1990.

SARON, C. **Reciclagem de pneus: Dois projetos criam alternativas para o reaproveitamento da borracha**. 246. ed. Pesquisa FAPESP, Agosto 2016. Disponível em: <<https://revistapesquisa.fapesp.br/reciclagem-de-pneus/>>. Acesso em: 19 nov. 2021.