



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA CIVIL**

**BÁRBARA DE OLIVEIRA LAGE DANTAS**

**REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL E DE  
PNEUS INSERVÍVEIS NA PAVIMENTAÇÃO**

**JOÃO PESSOA**

**2018**

Bárbara de Oliveira Lage Dantas

**REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL E DE  
PNEUS INSERVÍVEIS NA PAVIMENTAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso Engenharia Civil do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, Campus João Pessoa, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dra. Claudia Coutinho Nóbrega

JOÃO PESSOA

2018

**Catálogo na publicação**  
**Seção de Catalogação e Classificação**

D192r Dantas, Bárbara de Oliveira Lage.  
REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL E  
DE PNEUS INSERVÍVEIS NA PAVIMENTAÇÃO / Bárbara de Oliveira  
Lage Dantas. - João Pessoa, 2018.  
74 f. : il.

Orientação: Claudia Coutinho Nóbrega.  
TCC (Especialização) - UFPB/CT.

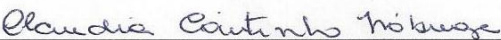
1. Resíduos, Reciclagem, Reutilização, Pavimentação. I.  
Nóbrega, Claudia Coutinho. II. Título.

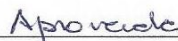
UFPB/BC

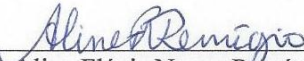
**BÁRBARA DE OLIVEIRA LAGE DANTAS**

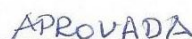
**REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL E DE  
PNEUS INSERVÍVEIS NA PAVIMENTAÇÃO**

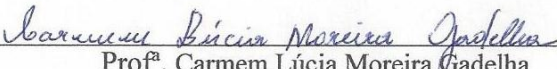
Trabalho de Conclusão de Curso em 28/08/2018 perante a seguinte Comissão Julgadora:

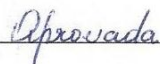
  
\_\_\_\_\_  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Cláudia Coutinho Nóbrega  
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

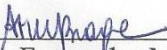
  
\_\_\_\_\_  
Aprovada

  
\_\_\_\_\_  
Prof.<sup>a</sup> Aline Flávia Nunes Remígio Antunes  
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

  
\_\_\_\_\_  
APROVADA

  
\_\_\_\_\_  
Prof.<sup>a</sup> Carmem Lúcia Moreira Gadelha  
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

  
\_\_\_\_\_  
Aprovada

  
\_\_\_\_\_  
Prof.<sup>a</sup> Ana Cláudia Fernandes Medeiros Braga  
Matrícula Siape: 1668619  
Coordenadora do Curso de Graduação em Engenharia Civil

## AGRADECIMENTOS

---

Agradeço primeiramente a Deus, que é tudo para mim, meu refúgio e minha fortaleza. Ele me deu força e sabedoria para chegar até aqui, acompanhando todos os meus passos e me abençoando diariamente, renovando minhas forças e meu amor pela vida.

Agradeço aos meus pais, Myrlanna Mary de Oliveira Dantas e Fabio Lúcio Dantas, e aos meus irmãos, Victoria Dantas e Breno Dantas, por todo amor, confiança, dedicação, paciência e compreensão, principalmente nos momentos de ausência. Obrigada por sempre acreditarem em mim, e, desde que nasci, terem sonhado todos os meus sonhos comigo.

Agradeço a todos os meus familiares por cuidarem de mim, rirem meu riso e chorarem o meu choro, sempre me apoiando e acreditando em mim, principalmente nos momentos mais difíceis. Em especial à minha madrinha, Vânia Lúcia e meus avós, Maria Alice Oliveira Lage (in memoriam) e Geraldo Magela Lage e Rosália Dantas (in memoriam) e Francisco das Chagas Dantas (in memoriam).

Agradeço a todos os meus professores do curso de Engenharia Civil. Principalmente à minha orientadora Cláudia Coutinho e às professoras Andrea Brasiliano e Ana Cláudia Fernandes. Obrigada por toda a paciência e por dividirem comigo os bens mais preciosos que alguém tem, o tempo e o conhecimento. Obrigada por me formarem como Engenheira, mas, principalmente, como ser humano e mulher. Vocês são uma inspiração para mim e exemplos de mulheres e de profissionais. Agradeço também às professoras Aline Flávia Nunes Remígio Antunes e Carmem Lúcia Moreira Gadelha, por aceitarem o convite para participar da banca examinadora da apresentação deste trabalho.

Agradeço ao meu namorado e melhor amigo, Roosevelt Sousa, por sempre ter estado ao meu lado, me encorajando a ser minha melhor versão e a não desistir nunca. Você é minha inspiração de força, persistência e dedicação ao sonho. E à minha sogra, Analice, por todo carinho e pelas orações.

Agradeço a todos os meus amigos, por todo o companheirismo, amizade, amor. Por sempre terem acreditado em mim, torcido comigo, chorado, vibrado ao

meu lado, e por terem sido o meu apoio, minha família e muitas vezes o meu descanso. Vocês são a família que Deus me deu. Em especial Rhoana, Graziela, Hennan, Guilherme, Larissa e Luís Eduardo, que acompanharam toda a minha trajetória na UFPB, e que sem os quais, eu não teria conseguido chegar ao fim, pelo menos não tão feliz e grata como cheguei. Aos amigos e irmãos Willy, Gustavo, Caio, Lucas, Artur, Tahnee, Thiago, Letícia, Natália, Rayan (in memoriam), Rebeca e meu afilhado, Bernardo. Sou grata por vocês sempre terem estado ao meu lado, em todas as fases da minha vida, acreditando em mim até quando eu mesma desacreditei. Agradeço também aos meus amigos do intercâmbio, a realização de um sonho, que, o melhor fruto foi a amizade de vocês, Mona e Tiago, e às meninas da Célula Ágape.

Agradeço a todos da minha equipe Halavanca, aos meus mestres e professores, que através do Jiu Jitsu transformaram a minha vida e o meu modo de viver, em especial Iuri e João Luiz.

Ninguém chega a lugar nenhum sozinho, e, definitivamente, todos vocês foram cruciais nessa caminhada. Só tenho a agradecer a Deus por ter colocado pessoas tão incríveis no meu caminho. Muito obrigada por tudo e, principalmente, por todo apoio e compreensão.

## RESUMO

---

Diante da crescente preocupação ambiental referente ao aumento significativo da exploração dos recursos naturais e na geração de resíduos sólidos que se justifica, entre outros fatores, pelo aumento da população e pelas suas mudanças comportamentais nas últimas décadas, se fez necessário buscar alternativas para reduzir os impactos ambientais causados, a fim de garantir que as gerações futuras consigam suprir as suas necessidades. O princípio dos 3R's – Reduzir, Reutilizar e Reciclar – tem como objetivo principal a não geração dos resíduos, que, em muitos casos não é possível, sendo a alternativa mais viável a reutilização ou reciclagem. Essas medidas são essenciais para um desenvolvimento sustentável e para disposição adequada de diversos resíduos, como por exemplo, os resíduos da construção civil e os pneus inservíveis, que, no Brasil, são gerados em média  $510 \frac{kg}{hab.ano}$  e 61 milhões/ano respectivamente.

Esse estudo foca, principalmente, a reciclagem e reutilização de resíduos sólidos da construção civil e de pneus inservíveis na construção de pavimentos, com a finalidade de reduzir o volume de resíduos que é disposto de forma inadequada, causando prejuízos ambientais, econômicos e sociais. O uso em pavimento é uma alternativa promissora para a destinação final adequada de ambos os resíduos, pois além de permitir a aplicação em grande volume, apresenta uma redução nos custos e uma melhora nas suas características, como durabilidade e resistência à fadiga, ao ser comparado a um pavimento convencional.

Um dos objetivos foi demonstrar a aplicabilidade técnica, econômica e ambiental desses agregados reciclados da construção civil nas camadas de base, sub-base e reforço de subleito e os da borracha, proveniente dos pneus inservíveis, na camada de revestimento dos pavimentos flexíveis. Esta aplicabilidade pôde ser constatada a partir das publicações de pesquisas laboratoriais e de aplicações práticas destes reciclados na pavimentação tanto no Brasil, quanto no mundo.

**Palavras-chave:** Resíduos, Reciclagem, Resíduos da Construção Civil, Pneus Inservíveis, Pavimentação.

## LISTA DE FIGURAS

---

Figura 1 - Classificação dos Resíduos Sólidos Urbanos quanto à origem. Fonte: Política Nacional dos Resíduos Sólidos – PNRS (2010).....	18
Figura 2 - Geração total de resíduos sólidos urbanos (t/dia) ano 2015 e 2016. Fonte: IBGE e ABRELPE (2016).....	21
Figura 3 - Geração total de resíduos sólidos urbanos (t/ano) ano 2010 e 2016. Fonte: IBGE e ABRELPE (2010 e 2016).....	21
Figura 4 - Figura 4- Disposição final de RSU no Brasil por tipo de destinação (t/dia). Fonte: ABRELPE (2016) .....	22
Figura 5 - Disposição final dos RSU coletados no Brasil (t/ano) no ano de 2016. Fonte: ABRELPE (2016) .....	23
Figura 6 - Lixão a céu aberto. Foto: Marcello Casal Jr (2017).....	24
Figura 7 - Porcentagem de Municípios com Coleta Seletiva no Brasil - Fonte: CEMPRE (2016).....	24
Figura 8 - Disposição inadequada de resíduos sólidos da construção civil. Fonte: MOTTA (2005). .....	31
Figura 9 - Agregados reciclados de concreto. Fonte: MOTTA (2005). .....	33
Figura 10 - Croqui de uma usina de reciclagem. Fonte: MONTEIRO et al. (2001). .....	35
Figura 11 - Caçamba de materiais indesejados dos resíduos da construção civil: Fonte: TAMURA (2015).....	36
Figura 12 - Catação realizada na Usina de Reciclagem do RCC da Prefeitura de Ribeirão Preto. Fonte: Foto de divulgação da empresa SBR. ....	36
Figura 13 - Britagem do resíduo da construção civil. Fonte: ABRECON.....	37
Figura 14 - Peneirador Usina Municipal de Reciclagem de Resíduos Inertes da Construção Civil de Bauru. Foto: Priscila Medeiros (2017) .....	37
Figura 15 - Esteira transportadoras de uma usina de reciclagem de resíduos da construção. Fonte: TAMURA (2015). .....	38



Figura 16 - Depósito de britas recicladas da usina RCC. Fonte: TAMURA (2015). .....	38
Figura 17 - Depósito de areias recicladas da usina RCC. Fonte: TAMURA (2015). .....	38
Figura 18 – Resíduos da Construção Civil misturados com outros tipos de resíduos em caçambas. Foto: Aloyso Tancredo. ....	40
Figura 19 – Total de vendas pneus em milhões de unidades por ano . Fonte: ANIP (2017).....	42
Figura 20 - Pneus descartados em ambientes abertos. Foto: Carol Daemon. ....	43
Figura 21 - Incêndio em lixão ilegal em Madri – Espanha. Foto: Sérgio Perez (2016).....	44
Figura 22 - Processo de trituração dos pneus. Fote: Usieco (2018) .....	47
Figura 23 - Transferência de carga através da estrutura de pavimento. Fonte: WIRTGEN (2008) .....	48
Figura 24 - Esquema de seção transversal das camadas de um pavimento conforme sua classificação. Fonte: RUTZEN (2015). ....	49
Figura 25 - Rodovias do Brasil. Fonte: Ministério dos Transportes, Portos e Aviação Civil (2018).....	51
Figura 26 - Rodovias Federais no Brasil. Fonte: Ministério dos Transportes, Portos e Aviação Civil (2018).....	52
Figura 27 - Sistema rodoviário brasileiro. Fonte: SNV (2017) .....	52
Figura 28 - Uso de agregados reciclados de resíduos da construção civil na pavimentação. Fonte: ABRECON (2018) .....	53
Figura 29 - Pavimentação com recapeamento em concreto asfáltico com ligante de borracha em Curitiba. Fonte: SANCHES et al. (2012).....	62
Figura 30 - Comparativo dos custos da execução e manutenção entre pavimentos com asfalto convencional e asfalto-borracha. Fonte: SANCHES et al. (2012).....	63
Figura 31 - Planta de produção do concreto asfáltico usinado a quente modificado por borracha (asfalto-borracha). FONTE: Rubberized Asphalt Concrete Technology Center - RACTC (2001). ....	64

## LISTA DE TABELAS

---

Tabela 1 - Estimativas de geração de resíduos da construção civil. Fonte: JOHN e AGOPYAN (2000) .....	29
Tabela 2 - Produção de pneus em milhares de unidades por ano. Fonte: ANIP (2017).....	41
Tabela 3 - Prazos e metas impostas aos produtores e importadores em relação à destinação de pneus inservíveis. Fonte: CONAMA nº 258/2002 .....	45
Tabela 4 - Preço de base de pavimento executada pela PMSP. Fonte: PMSP (2005).....	54
Tabela 5 - Requisitos específicos para agregado reciclado destinado a pavimentação. Fonte: ABNT NBR11516.....	55
Tabela 6 - Requisitos gerais para agregado reciclado destinado à pavimentação. Fonte: ABNT NBR11516.....	56

## SUMÁRIO

---

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>12</b>
<b>1.1.OBJETIVOS .....</b>	<b>13</b>
<b>1.1.1. OBJETIVO GERAL.....</b>	<b>13</b>
<b>1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....</b>	<b>13</b>
<b>1.2.JUSTIFICATIVA .....</b>	<b>13</b>
<b>1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO .....</b>	<b>14</b>
<b>1.4.MÉTODO .....</b>	<b>14</b>
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>15</b>
<b>2.1.SUSTENTABILIDADE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL .....</b>	<b>15</b>
<b>2.2.RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS .....</b>	<b>16</b>
<b>2.2.1. CLASSIFICAÇÃO .....</b>	<b>17</b>
<b>2.2.2. GERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS .....</b>	<b>19</b>
<b>2.2.3. GESTÃO DE RESÍDUOS.....</b>	<b>22</b>
<b>2.2.4. IMPACTOS GERAIS DA DISPOSIÇÃO FINAL DO RESÍDUO SÓLIDO URBANO - RSU .....</b>	<b>25</b>
<b>2.3.PRINCÍPIOS DOS 3R’S.....</b>	<b>26</b>
<b>2.3.1. RECICLAGEM .....</b>	<b>27</b>
<b>2.3.2. RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL .....</b>	<b>27</b>

2.3.2.1. GERAÇÃO DO RESÍDUO DA CONSTRUÇÃO CIVIL - RCC.....	29
2.3.2.2. IMPACTOS DA DISPOSIÇÃO INADEQUADA.....	30
2.3.2.3. GERENCIAMENTO DO RESÍDUO DA CONSTRUÇÃO CIVIL - RCC ...	31
2.3.2.4. RECICLAGEM DO RESÍDUO DA CONSTRUÇÃO CIVIL - RCC .....	32
2.3.2.4.1. PROCESSO DE RECICLAGEM.....	34
2.3.2.4.2. OBSTÁCULOS.....	39
2.3.3. PNEUS INSERVÍVEIS.....	40
2.3.3.1. GERAÇÃO .....	41
2.3.3.2. DISPOSIÇÃO INADEQUADA.....	42
2.3.3.3. GERENCIAMENTO.....	44
2.3.3.4. RECICLAGEM .....	46
2.4. PAVIMENTO.....	48
2.4.1. PAVIMENTAÇÃO .....	50
2.5. USO DE MATERIAIS RECICLADOS NA PAVIMENTAÇÃO .....	52
2.5.1. USO DE RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO CIVIL - RCC.....	53
2.5.2. ASPECTOS NORMATIVOS .....	54
2.5.2.1. EXPERIÊNCIA MUNDIAL.....	57
2.5.2.2. EXPERIÊNCIA NACIONAL .....	59

<b>2.5.3. USO DE PNEUS INSERVÍVEIS.....</b>	<b>60</b>
<b>2.5.3.1. PROCESSO DE INCORPORAÇÃO DA BORRACHA DE PNEUS INSERVÍVEIS.....</b>	<b>63</b>
<b>2.5.3.2. EXPERIÊNCIA MUNDIAL.....</b>	<b>64</b>
<b>2.5.3.3. EXPERIÊNCIA NACIONAL .....</b>	<b>65</b>
<b>3. CONCLUSÃO.....</b>	<b>66</b>
<b>3.1. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>68</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>69</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Com o crescimento da população e o desenvolvimento tecnológico, que se deu de forma mais intensa nos séculos XX e XXI, houve um aumento significativo do consumismo e, conseqüentemente, dos níveis de degradação ambiental em todos os países do mundo. Em razão disso, a produção de bens de consumo duráveis e não duráveis cresceu de forma surpreendente, o que acarretou em diversas conseqüências negativas para o meio ambiente, como a redução dos recursos naturais, levando a um possível esgotamento para gerações futuras. Além disso ocorreu a grande geração de resíduos sólidos urbanos e sua disposição inadequada. A medida que as áreas urbanas foram crescendo, gerando cada vez mais resíduos, aumentou também a dificuldade em encontrar formas de disposição final adequada para esses materiais, causando assim um aumento na preocupação da sociedade.

A partir da preocupação ambiental e da crescente escassez de recursos para a qual o mundo estava se direcionando, o tema sustentabilidade passou a ser discutido, desde a década de 1980, com o Relatório de Brundtland (1987) e tinha como definição geral: “suprir as necessidades da geração presente sem afetar a habilidade das futuras de suprir as suas”. Posteriormente, surgiram outros documentos como, na cidade do Rio de Janeiro, a Declaração da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano e a Agenda 21. Todos esses documentos têm como objetivo em comum: preservar o meio ambiente e promover um desenvolvimento sustentável.

Visando um desenvolvimento sustentável, que apresenta dentre um dos seus maiores problemas a geração de resíduos sólidos, passou-se a considerar o Princípio dos 3R's da Sustentabilidade: Reduzir, Reutilizar e Reciclar.

Nesse trabalho pretende-se destacar a redução da extração de recursos para a construção de pavimentos flexíveis a partir do reaproveitamento e da reciclagem de materiais reaproveitáveis, como os Resíduos da Construção Civil (RCC) nas camadas granulares e de pneus inservíveis no revestimento asfáltico, a fim de aumentar o ciclo de vida desses materiais, evitando assim, a degradação do meio ambiente. A reutilização e a reciclagem desses materiais além focar na redução da extração de matéria-prima, também considera sua disposição

adequada, prevista na Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente CONAMA nº 307 (2002) que obriga os geradores de resíduos a darem uma destinação adequada ao material produzido.

## **1.1. OBJETIVOS**

### **1.1.1. OBJETIVO GERAL**

Realizar uma revisão bibliográfica sobre a reutilização dos resíduos da construção civil nas camadas granulares e dos pneus inservíveis na camada asfáltica de revestimento na construção de um pavimento flexível.

### **1.1.2. OBJETIVO ESPECÍFICO**

- Estudar a viabilidade técnica, econômica e, principalmente, ambiental da reutilização de resíduos sólidos da construção civil em camadas granulares e da borracha de pneus inservíveis na construção de pavimentos flexíveis.

## **1.2. JUSTIFICATIVA**

Ao identificar que a construção civil é uma atividade que apresenta uma intensa geração de resíduos sólidos, e que, além disso, é um dos setores que mais consome matéria-prima, é também possível observar que há possibilidade de reutilização de uma boa parte desses resíduos no processo construtivo. Apesar de não ser uma prática muito comum no Brasil, a reciclagem de resíduos sólidos na construção civil converge para uma solução tanto para a problemática do grande uso de matéria-prima nesse setor, quanto para a de disposição final dos resíduos sólidos. A partir da reinserção dos resíduos sólidos no processo produtivo é possível evitar desperdícios e, principalmente, reduzir a pressão sobre os recursos naturais, o que seria economicamente e, principalmente ambientalmente benéfico, visto que a disponibilidade de recursos está em crise, assim como o meio ambiente. Portanto, buscar alternativas sustentáveis para

atividades geradoras de resíduos é uma urgência, para garantir que as gerações futuras possam viver de forma digna e sustentável.

### **1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO**

O presente trabalho está organizado em três capítulos, sendo este o primeiro, introdutório. Já, o segundo é a revisão bibliográfica, na qual são abordados os conceitos sobre sustentabilidade, o princípio dos 3R's, a definição de resíduos sólidos, além de um estudo sobre a Resolução CONAMA nº 307/2002 e a Política Nacional dos Resíduos sólidos - PNRS. Também no segundo capítulo é abordado a definição e concepção de um pavimento flexível, especificando as normas relacionadas, sua estrutura, seus componentes e seu comportamento físico. É estudado também a viabilidade técnica e econômica da reutilização de resíduos sólidos da construção civil e de pneus inservíveis na construção da seção de um pavimento flexível, a partir de exemplos práticos e pesquisas realizadas no Brasil e no mundo e com uma explicação detalhada de todo esse processo. No terceiro e último capítulo é apresentada a conclusão acerca do trabalho e proposta de temas para projetos futuros. Por último, serão mostradas as referências bibliográficas utilizadas para a realização desta pesquisa.

### **1.4. MÉTODO**

Foi realizado um estudo teórico-descritivo visando conceituar sobre o uso da reciclagem dos resíduos da construção civil e de pneus inservíveis como matéria prima no processo de pavimentação a partir de uma pesquisa bibliográfica e documental. Utilizou-se teses, dissertações, livros, revistas técnicas especializadas e artigos de congressos e periódicos nacionais e internacionais a fim de discutir sobre a viabilidade técnica, econômica e ambiental do uso dos resíduos na pavimentação. Além disso, essa pesquisa, do tipo, qualitativa, bibliográfica e interpretativa, permitiu a apresentação de algumas definições sobre sustentabilidade e geração de resíduos.



## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. SUSTENTABILIDADE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL**

Apesar de amplamente usados na literatura científica, nas políticas públicas e no setor privado, ainda não há um consenso sobre os conceitos de sustentabilidade e desenvolvimento sustentável. Ambos são termos complexos e os seus significados, geralmente, variam de acordo com o contexto e o campo de atuação no qual estão sendo utilizados.

Bell e Morse (2008) entendem sustentabilidade, a partir da consideração da integração do sistema indissociável entre o meio ambiente e o ser humano, como a capacidade de o sistema global de manter sua qualidade e/ou propriedade em um nível próximo, igual ou superior à sua média historicamente registrada, considerando todas as possíveis alterações dinâmicas provocadas ao longo do tempo. De forma geral, a sustentabilidade pode ser definida como a capacidade do homem interagir com o meio ambiente de forma que não comprometa os recursos naturais para gerações futuras, integrando e buscando o equilíbrio entre os aspectos sociais, energéticos, econômicos, e, principalmente, ambientais.

De acordo com Hove (2004) o desenvolvimento sustentável é o acesso, ou seja, a estratégia criada para se atingir a sustentabilidade, sendo esta considerada o intento final de longo prazo. Portanto, desenvolvimento sustentável pode ser conceituado como uma estratégia que deve integrar aspectos sociais, econômicos e ambientais, utilizada em longo prazo, para melhorar a qualidade de vida da sociedade, levando em consideração as limitações ambientais, como por exemplo, os recursos naturais.

O conceito de “desenvolvimento sustentável” se popularizou a partir de 1987 por meio do Relatório de Brundtland, documento intitulado como Nosso Futuro Comum (Our Common Future), elaborado pela Comissão Mundial Sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, que define desenvolvimento sustentável como sendo aquele capaz de satisfazer as necessidades da sociedade presente sem

comprometer a possibilidade das gerações futuras de suprirem suas próprias necessidades. Esse relatório propôs, principalmente, uma mudança de comportamento e hábitos da humanidade para garantir a preservação dos recursos básicos a longo prazo, a preservação dos ecossistemas e o uso de energias renováveis, a partir de estratégias que seguissem uma agenda global para mudança. Além disso, propôs normas de comportamento para todos os níveis e no interesse de todos, que fossem socialmente e ambientalmente sustentáveis simultaneamente.

As discussões relacionadas ao meio ambiente iniciaram-se no âmbito científico a partir do primeiro relatório do Clube de Roma, Os Limites do Crescimento (1972) que abordou cenários catastróficos sobre o futuro do planeta caso o padrão desenvolvimentista vigente permanecesse. A partir disso, outros relatórios voltados para o tema de preservação ambiental e desenvolvimento sustentável foram elaborados:

- Declaração de Estocolmo (1972).
- Relatório de Brundtland: Nosso Futuro Comum (1987).
- Declaração do Rio (1992).
- Agenda 21 (1992).

## **2.2. RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS**

Segundo a Lei federal nº 12.305/2010, caracteriza-se como resíduo sólido qualquer material, substância, objeto ou bem descartável resultante de atividades humanas em sociedade, cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos, cujas particularidades tornem inviável seu lançamento na rede pública de esgotos, em corpos d'água, ou que exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível (Brasil, 2010).

Deus, Battistelle e Silva (2015) ao observarem a implantação da Diretiva Europeia, e no Brasil, da edição da Política Nacional dos Resíduos Sólidos salientam que a discussão em torno dos resíduos sólidos está em evidência na sociedade moderna. Ao se discutir sobre desenvolvimento sustentável, as

atividades analisadas em primeiro momento são aquelas de preservação, recuperação, reciclagem e controle do meio ambiente. Por essa razão, uma das principais problemáticas enfrentadas pelo desenvolvimento sustentável está relacionada à geração e a disposição final dos resíduos sólidos urbanos (RSU).

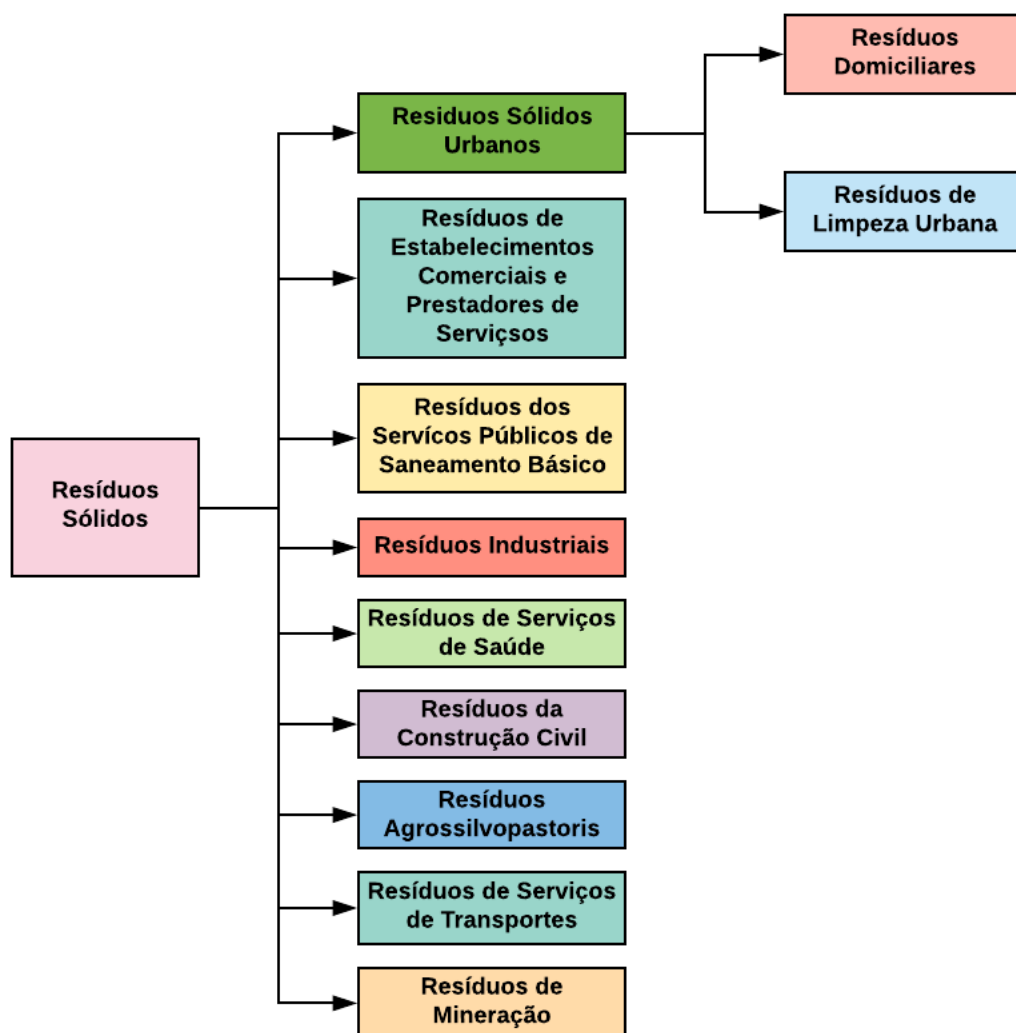
Segundo Carvalho (1999), a problemática da geração do RSU se inicia a partir da afirmativa que toda atividade gera resíduos, sendo de origem antrópica, industrial, comercial, domiciliar ou de lazer, e que a disposição inadequada desses resíduos pode contaminar o solo, a água e o ar, gerando diversos riscos à saúde pública e também ao meio ambiente. A amplitude dos impactos dos RSU pode ser depreendida a partir dos volumes de geração combinados com o nível de eficácia da sua gestão.

De acordo com Leme (2009), os resíduos sólidos urbanos constituem uma grande preocupação ambiental e os principais problemas diretamente relacionados ao aumento na geração, à variedade de materiais descartados e a dificuldade em encontrar áreas para depósito, visto que a geração e a disposição são atividades rotineiras de uma sociedade.

### **2.2.1. CLASSIFICAÇÃO**

A Lei nº 12.305 de 2010 que instituiu a Política Nacional dos Resíduos Sólidos classificou os resíduos sólidos quanto à sua origem em: resíduos domiciliares, resíduos de limpeza urbana, resíduos sólidos urbanos, resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços, resíduos dos serviços públicos de saneamento básico, resíduos industriais, resíduos de serviços de saúde, resíduos da construção civil, resíduos agrossilvopastoris, resíduos de serviços de transportes e resíduos de mineração. (Figura 1)

Figura 1 - Classificação dos Resíduos Sólidos Urbanos quanto à origem. Fonte: Política Nacional dos Resíduos Sólidos – PNRS (2010)



Posteriormente, a Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT - por meio da Norma Brasileira NBR 10004 em 2004 passou a classificar os resíduos a partir do seu estado físico (sólido, líquido ou gasoso) e do seu grau de periculosidade, mostrados a seguir:

- Resíduos Classe I – resíduos perigosos através de critérios de periculosidade estabelecidos pela norma, tais como inflamabilidade, reatividade, toxicidade, corrosividade e patogenicidade.
- Resíduos Classe II A – resíduos não perigosos e não inertes, podendo apresentar biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.

- Resíduos Classe II B – resíduos não perigosos e inertes (rochas, tijolos, vidros, alguns plásticos e borrachas) que não são decompostos facilmente.

No Brasil, quanto à classificação dos resíduos sólidos como potencialmente poluentes, a ABNT possui as seguintes normas:

- NBR 10004 (2004) – Resíduos Sólidos  
Classifica os resíduos quanto à análise da natureza física (seco ou molhado), quanto à análise da composição química (matéria orgânica ou inorgânica) e quanto à análise do risco potencial ao meio ambiente (perigoso, não inerente e inerte).
- NBR 10005 (2004) – Lixiviação de Resíduos  
Descreve o procedimento para se obter o extrato lixiviado dos resíduos sólidos tendo em vista a sua classificação.
- NBR 10006 (2004) – Solubilização de Resíduos  
Descreve o procedimento para se obter o extrato solubilizado de resíduos sólidos, além de prescrever sobre a solubilização de resíduos sólidos e fixar as condições exigíveis para diferenciar os resíduos não inertes, podendo ser aplicada somente aos resíduos sólidos.
- NBR 10007 (2004) – Amostragem de Resíduos  
Estabelece condições mínimas e máximas exigíveis para cada amostragem, e também para a preservação e estocagem de amostras de resíduos sólidos.

### **2.2.2. GERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS**

Carvalho (1999) observou que uma das principais justificativas para o aumento significativo na geração de resíduos sólidos urbanos (RSU) está diretamente relacionada ao processo de industrialização e ao crescimento econômico e populacional dos centros urbanos, dificultando ainda mais a disposição correta e segura da crescente produção de RSU.

Os movimentos comerciais que ocorreram na Europa a partir do século XV que estimularam a revolução industrial, iniciada em meados do século XVIII,

deram origem a uma sociedade mais voltada para o consumo, diferentemente daquela que a antecede, voltada ao trabalho e à produção. A revolução industrial, apoiando-se na ética protestante, fortaleceu a ideia do acúmulo de riquezas como um valor fundamental.

Segundo Carvalho (1999), o consumismo influencia tanto direta quanto indiretamente na depredação ambiental. Indiretamente, pois aumenta desnecessariamente a extração de matéria-prima da natureza que serão usados nos processos de produção. Diretamente, pois devolve ao meio ambiente volumes maiores de resíduos sólidos do que os que seriam devolvidos caso houvesse um consumo consciente. A medida que se aumenta a pressão no meio ambiente e se reduz a sua capacidade de prestação de serviços ecossistêmicos, o bem-estar social também diminui, visto que há um aumento no número de doenças e de extremos climáticos, além de uma redução significativa na disponibilização de recursos básicos, como a água.

Carvalho (1999) ainda discute que a geração de resíduos sólidos urbanos – RSU - é impulsionada não só por fatores econômicos e comportamentais, como citado anteriormente, mas também sofre a influência direta de fatores populacionais, referentes ao seu crescimento e sua concentração em áreas urbanas.

No Panorama dos Resíduos no Brasil, publicado pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais - ABRELPE - em 2016, foi revelado que 78,3 milhões de toneladas de RSU foram geradas no País, chegando a 214.405 t/dia. Quando comparado ao ano anterior, constatou-se uma queda de 2% no montante (Figura 2). Entretanto, quando comparado com o Panorama dos Resíduos no Brasil da ABRELPE do ano de 2010, observa-se um aumento significativo na geração dos resíduos sólidos, de 60,9 milhões de toneladas em 2010, para 78,3 milhões de toneladas na última pesquisa, em 2016. (Figura 3)

Figura 2 - Geração total de resíduos sólidos urbanos (t/dia) ano 2015 e 2016. Fonte: IBGE e ABRELPE (2016).

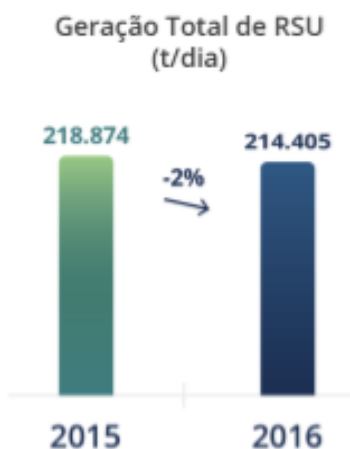
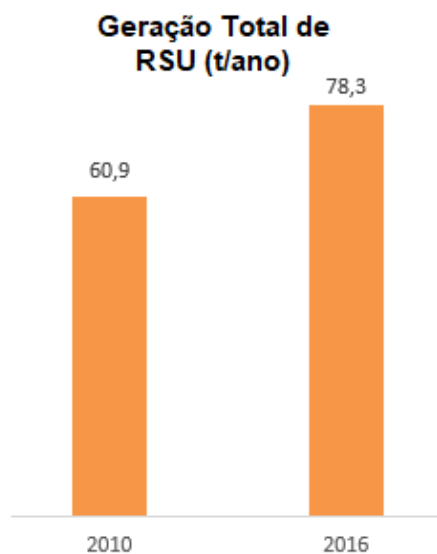


Figura 3 - Geração total de resíduos sólidos urbanos (t/ano) ano 2010 e 2016. Fonte: IBGE e ABRELPE (2010 e 2016).

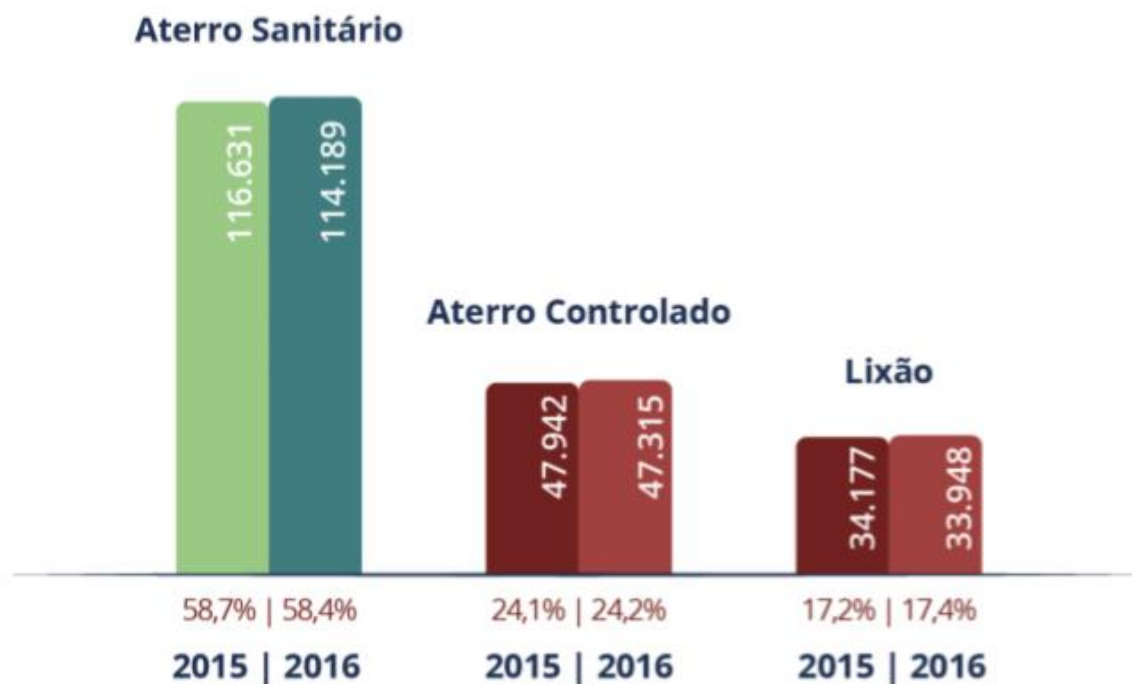


Já no cenário mundial, Sjöström e Östblom (2010) constataram que a quantidade de RSU per capita aumentou 29% na América do Norte, 35% nos países membros da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico - OCDE e, 54% nos países membros da União Europeia - UE15 - no período de 1980 a 2005, acompanhando o aumento do produto interno bruto (PIB) dos países.

### 2.2.3. GESTÃO DE RESÍDUOS

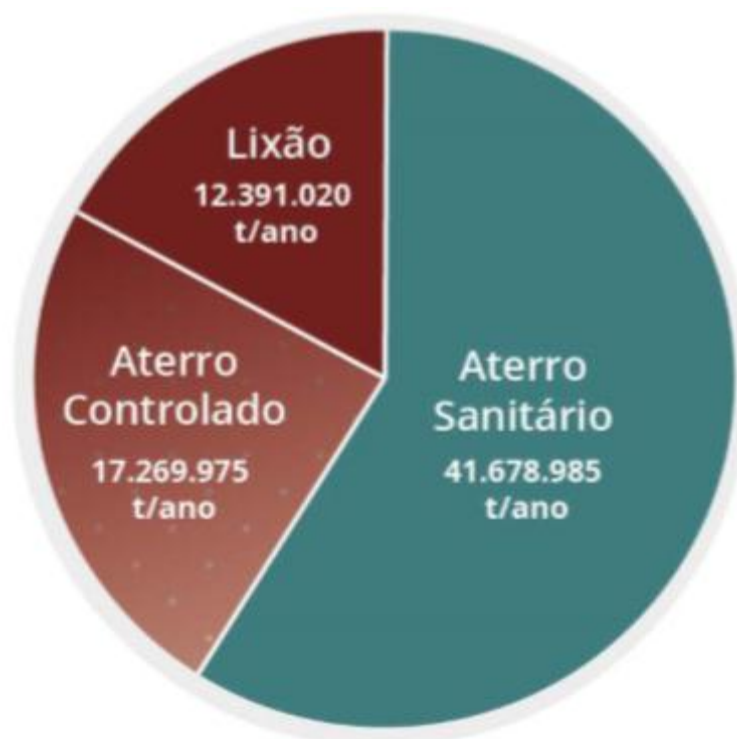
De acordo com a ABRELPE no Panorama dos Resíduos no Brasil (2016) foi registrado um índice de 91% de cobertura de coleta de resíduos no país. Entretanto, os 7 milhões de toneladas de resíduos que não foram coletados tiveram uma disposição final imprópria, causando danos ao meio ambiente e à população. Os índices de disposição final de RSU coletados pela ABRELPE (2016) mostram que as unidades inadequadas de disposição final dos resíduos, ou seja, aquelas que não possuem o conjunto de sistemas e medidas necessários para proteção do meio ambiente, no caso, lixões ainda estão presentes em todas as regiões do País. No ano de 2016 os lixões porceberam mais de 85 mil toneladas de resíduos por dia (Figura 4) e mais de 29 milhões de toneladas por ano, o que representa aproximadamente 41,6% do montante (Figura 5). Esse alto índice de disposição do RSU em unidades inadequadas causam danos devido ao seu elevado potencial de poluição ambiental e impactos negativos na saúde, estes danos serão discutidos no próximo tópico.

Figura 4 - Figura 4- Disposição final de RSU no Brasil por tipo de destinação (t/dia). Fonte: ABRELPE (2016)





**Figura 5 - Disposição final dos RSU coletados no Brasil (t/ano) no ano de 2016. Fonte: ABRELPE (2016)**



Ao comparar a gestão de resíduos sólidos no Brasil com alguns países desenvolvidos, como por exemplo a Alemanha, fica evidenciado a sua baixa eficácia (EUROSTAT 2016). Segundo a autoridade estatística da União Européia - EUROSTAT (2016), do montante de resíduos gerados nos vinte e oito países da União Europeia, no ano de 2016, um total de 45,5% foram reciclados, sendo a Alemanha o país que apresentou o melhor índice de reciclagem, 66,1%. Em contraposição, no Brasil, de acordo com o estudo apresentado pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais - ABRELPE (2016), 9% dos resíduos sólidos gerados, sequer, são coletados e, como foi citado anteriormente, 41,6% do montante coletado é depositado inadequadamente, nos lixões (Figura 6). Além disso, o Compromisso Empresarial Para Reciclagem – CEMPRE – divulgou em sua última pesquisa, no ano de 2016, que apenas 18% dos municípios brasileiros são atendidos pela coleta seletiva (Figura 7), atingindo apenas 15% da população. Vale ressaltar que estes programas são pontuais, não abrangem o município em sua totalidade.

É preciso salientar que a gestão eficiente de resíduos sólidos enfatiza a não geração, seguida da redução, reutilização, reciclagem, tratamento e disposição final dos rejeitos, de maneira adequada que não prejudique o meio ambiente. Rocha (2012) relata que é preciso realizar um gerenciamento adequado dos resíduos sólidos produzidos pela população, afim de minimizar os efeitos negativos ao meio ambiente. Portanto, a coleta seletiva se configura como uma alternativa ambientalmente correta e sustentável de reciclagem de resíduos, pois além de diminuir o volume de depósito dos resíduos nos aterros, evita-se o descarte em locais inapropriados.

**Figura 6 - Lixão a céu aberto. Foto: Marcello Casal Jr (2017).**



**Figura 7 - Porcentagem de Municípios com Coleta Seletiva no Brasil - Fonte: CEMPRE (2016)**



## **2.2.4. IMPACTOS GERAIS PELA DISPOSIÇÃO FINAL DO RESÍDUO SÓLIDO URBANO - RSU**

O crescimento populacional, a conseqüente expansão territorial urbana, a ampliação do sistema de produção e o consumo industrial têm contribuído para agravar as condições ambientais, sobretudo do cenário urbano, visto que com o aumento na geração de resíduos sólidos, conseqüentemente, aumentou a dificuldade em dispô-los corretamente. Esse fato que tem ocasionado destinação clandestina desses resíduos. Em relação aos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), a amplitude dos impactos de sua disposição final depende, diretamente, dos volumes gerados e do tipo de resíduo.

Segundo Godeck et al. (2012), as destinações finais inadequadas dos RSU apresentam diversos malefícios, principalmente à população próxima aos locais de deposição dos resíduos sólidos que terá que lidar com diversos problemas referentes à saúde humana e à poluição ambiental e climática. Quanto ao local inadequado onde os resíduos são dispostos, há o mau cheiro e a depleção paisagística, conseqüentemente, reduzindo o bem-estar das pessoas que vivem no entorno e desvalorizando os imóveis próximos. Quanto à saúde humana, há diversos impactos negativos, como contração de doenças provenientes de vetores (micro e macro vetores) que são responsáveis pela transmissão de várias doenças ou da absorção de metais pesados devido ao descarte de lixo eletrônico, além daquelas decorrentes da poluição do ar pela presença particulados e gases cancerígenos emitidos nas incinerações dos resíduos. Godeck et al. (2012) ainda destacaram os problemas enfrentados pela população referentes à falta de água e alimentos devido à redução na capacidade dos recursos naturais em disponibilizar serviços ecossistêmicos. A atmosfera também sofre impactos pela concentração dos gases oriundos da decomposição da matéria orgânica presente na massa de resíduo, causando um dos maiores impactos ambientais, que é o aquecimento global.

Mucelin e Bellini (2008), apresentaram outros impactos gerados pela prática de disposição inadequada de resíduos sólidos, principalmente quando dispostos em fundos de vale, às margens de ruas ou cursos d'água, pois podem provocar, entre outras coisas, a contaminação de corpos d'água, enchentes,

assoreamento e proliferação de vetores responsáveis pela transmissão de doenças, além da poluição visual e da contaminação do ambiente.

Diante do exposto, fica evidente a necessidade de realizar melhorias no processo de coleta e destinação dos Resíduos Sólidos Urbanos, pois a cada ano, além de aumentar a população também se elevam as taxas de resíduos produzidos e a disposição adequada destes passou a ser primordial para a preservação ambiental e da saúde da população.

### **2.3. PRINCÍPIO DOS 3R'S**

A questão da disposição dos resíduos sólidos vem sendo apontada pelos ambientalistas como um dos mais graves problemas ambientais urbanos da atualidade. A compreensão da necessidade do gerenciamento integrado desses resíduos propiciou a formulação do chamado princípio dos “3R’s” que foi mais difundido com a Agenda 21 e com o 5º Programa Europeu para o Ambiente e Desenvolvimento de 1993. Atualmente, já discute-se sobre o princípio dos 5R’s, que considera também: repensar e recusar. Entretanto, no caso desse trabalho focou-se no princípio dos 3R’s, visto que esse princípio consiste num conjunto de medidas de ação - Reduzir, Reutilizar e Reciclar – que apresenta como um dos objetivos principais reduzir a poluição ambiental e a extração de recursos não renováveis.

- Reduzir significa consumir menos produtos e preferir aqueles que ofereçam menor potencial de geração de resíduos e tenham maior durabilidade enfatizando o combate ao desperdício, diminuindo a quantidade de resíduo sólido gerado.

- Reutilizar significa utilizar outras vezes, sem transformação, para outras finalidades um material já foi originalmente usado, como por exemplo uma embalagem, reinserindo-o no ciclo produtivo.

- Reciclar é transformar o resíduo antes inútil em matérias-primas ou novos produtos, ou seja, é um processo de reinserção de um determinado produto como matéria-prima na manufatura de bens.

De acordo com Naime (2005) o princípio dos 3R’s busca causar o menor impacto, evitando a geração dos resíduos, reutilizando no mesmo estado em que

se encontram e só então partindo para a reciclagem, ou seja, há uma minimização da geração de resíduos.

Portanto, os responsáveis pelos resíduos devem ter como objetivo prioritário a sua não geração e, sendo isso praticamente impossível, devem considerar o princípio dos “3R’s” que, somado com adoção de padrão de consumo sustentável possibilita conter o desperdício e poupar os recursos naturais.

### **2.3.1. RECICLAGEM**

A reciclagem de materiais, tem se mostrado um eficiente mecanismo para minimizar os problemas gerados pela disposição inadequada de resíduos sólidos, além reduzir o uso de recursos naturais e permitir a permanência da matéria-prima no processo de produção.

Corrêa (2009) apresenta alguns dos benefícios da reciclagem de materiais:

- Ambientais: a reciclagem possibilita a redução da utilização predatória dos recursos naturais, pois minimiza a necessidade da extração de matéria prima em jazidas, além de reduzir a deposição de resíduos em aterros ou lixões, que contaminam o solo, corpos hídricos e o ar.
- Econômicos: a reciclagem de resíduos aumenta a vida útil dos aterros, economiza a energia que seria gasta no processo de extração da matéria prima além de reduzir o gasto com a disposição dos resíduos sólidos.
- Sociais: a reciclagem permite a geração de empregos diretos ou indiretos, através da inclusão de microempresas recicladoras e consequente aumento da mão-de-obra intensiva.

## **2.4. RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL**

De acordo com Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente CONAMA nº 307 (2002) os resíduos da construção civil são todos os materiais

provenientes das sobras das obras de construção, incluindo reformas, reparos e demolições e os materiais resultantes da preparação e da escavação de terrenos e terraplenagem, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras em geral, forros, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, restos de emboço, estruturas de concreto armado (vigas, pilares, cortinas, tirantes, etc.), portas, janelas, ferragens, telhas de cerâmicas (pisos e azulejos), louças de cozinhas e banheiros e áreas de serviços, canos de ferro, de cerâmica ou de plástico, ferros das estruturas, de conduítes, de grades de proteção ou de grades de alumínio, terra, areia, pedras, entre outros, comumente chamados de entulhos de obra, caliça ou metralha.

Na Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente N° 307 (2002) e a nova redação dada pela Resolução n° 348 (2004) os resíduos da construção civil são classificados em quatro classes: A, B, C e D; com base no seu potencial de reciclagem ou reuso:

- Classe A: engloba os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, provenientes de construções, demolições, reformas e reparos de pavimentação, edificações e peças pré-moldadas em concreto, tais como: tijolos, blocos, telhas, argamassa e concreto.
- Classe B: são os resíduos recicláveis para outras destinações, mas não para produção de agregados, como pape/papelão, plástico, metais, vidros, madeiras, entre outros.
- Classe C: são os resíduos para os quais ainda não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam sua reciclagem, como exemplo, os produtos oriundos do gesso.
- Classe D: representa resíduos perigosos, provenientes de processos construtivos. Os principais materiais desta categoria são: tintas, óleos, solventes e aqueles contaminados ou prejudiciais originários de demolições e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais, bem como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde.

Segundo Lima e Lima (2009), a fase de caracterização é particularmente importante no sentido de identificar e quantificar os resíduos e, desta forma,

realizar o planejamento adequado, visando a redução, a reutilização, a reciclagem e a destinação final.

### 2.4.1. GERAÇÃO DO RESÍDUO DA CONSTRUÇÃO CIVIL - RCC

Há diversas razões que podem ser citadas para justificar a geração de Resíduos da Construção Civil (RCC). Segundo Miotto (2013), a geração excessiva de RCC pode ser justificada por diferentes fatores, como por exemplo a baixa qualificação da mão de obra, o uso de técnicas construtivas de baixa tecnologia que na maioria das vezes não emprega princípios de racionalização, falhas nos métodos de transporte dos materiais nos canteiros de obras, excesso de produção de materiais e de embalagens, e, principalmente, a falta de gerenciamento nas obras de construção civil. De acordo com a ABRELPE (2016) foram coletados 41,5 milhões de RCC no Brasil, entretanto, é preciso ressaltar que a quantidade total de resíduos gerada é ainda maior, visto que esse número é referente apenas aqueles resíduos que foram lançados ou abandonados nos logradouros público, e então foram coletados.

Em seu estudo, Pinto (1999) observa uma média da geração per capita de resíduos da construção civil no país de  $510 \left(\frac{kg}{hab.ano}\right)$  com uma variação de 230 até  $660\left(\frac{kg}{hab.ano}\right)$ . Já, Azevedo, Kiperstok e Moraes (2006) mostram em seu estudos que as estimativas internacionais sobre a geração per capita desse resíduo variam entre 130 e  $3.000 \left(\frac{kg}{hab.ano}\right)$ . A Tabela 1 apresenta a estimativa da gerações de resíduos da construção civil em alguns países. Entretanto, esses dados são do ano 2000 e não foram encontrados dados mais atuais referentes a esses resíduos.

**Tabela 1 - Estimativas de geração de resíduos da construção civil. Fonte: JOHN e AGOPYAN (2000)**

País	Quantidade Anual	
	Mt/ano	Kg/hab.ano
Suécia	1,2 – 6	136 – 680
Holanda	12,8 - 20,2	820 – 1300
EUA	136 – 171	463 – 584
UK	50 – 70	880 – 1120
Bélgica	7,5 - 34,7	735 – 3359

Dinamarca	2,3 - 10,7	440 – 2010
Itália	35 - 40	600 – 690
Alemanha	79 – 300	963 – 3658
Japão	99	785
Portugal	3,2	325
Brasil	Na	230 - 660

#### **2.4.2. IMPACTOS DA DISPOSIÇÃO INADEQUADA**

A deposição irregular dos resíduo sólidos da construção civil é uma prática comum em diversos países. O destino desses resíduos são os mais diversos possíveis: aterro sanitário, descargas clandestinas ao longo das margens de vias públicas e córregos, em terrenos baldios, de terceiros e próprios. No Brasil, os números estimados por Pinto (1999), em uma das principais pesquisas do país referentes a resíduos da construção civil, para cinco cidades médias variaram entre 10 e 47% do total gerado. Estes resíduos depositados irregularmente causam assoreamento de rios e córregos, enchentes devido ao entupimento de redes de drenagem, proliferação de vetores nocivos à saúde, interdição parcial de vias e degradação do ambiente urbano.

Triches e Kryckyj (1999) ressaltam, em sua pesquisa, que nos casos em que o RCC são dispostos de forma irregular, por alguns proprietários de imóveis, como aterro, sem nenhum controle técnico do processo, há um grande risco de desabamento nas construções erguidas nestas áreas, como o ocorrido na Favela Nova República em São Paulo, onde o desabamento de um aterro com resíduo de construção causou a morte de várias pessoas.

Finalmente, a disposição irregular dos resíduos da construção civil (Figura 8) gera grandes gastos públicos, Pinto (1999) estima que esses valores variaram entre US\$5,4/t e US\$14,8/t<sup>1</sup> de RCC recolhido para diferentes cidades e técnicas de recolhimento.

De acordo com Schneider (2003) os gastos envolvidos com o sistema de coleta, transporte e destinação final dos resíduos de construção civil entre os anos de 1993 e 2002 chegaram a mais de R\$ 263 milhões.

<sup>1</sup> No dia 10 de Agosto de 2018 a cotação do dólar americano estava R\$ 3,85. Portanto, o valor da coleta varia pelo estudo apresentado por Pinto (1999) variava entre R\$19,71/t e R\$56,98/t.



**Figura 8 - Disposição inadequada de resíduos sólidos da construção civil. Fonte: MOTTA (2005).**



### **2.4.3. GERENCIAMENTO DO RESÍDUO DA CONSTRUÇÃO CIVIL - RCC**

Conforme a Resolução CONAMA nº 307 de 2002, o gerenciamento de resíduos da construção civil deve abranger o conjunto de ações exercidas, direta ou indiretamente, nas etapas de coleta, transporte, transbordo, tratamento e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos. Aliado a esse panorama, a Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei nº 12.305/2010 prevê a redução na geração de resíduos através de uma proposta de prática de hábitos de consumo sustentável, além de propiciar diversos instrumentos para o aumento da prática de reciclagem dos resíduos sólidos e também a destinação ambientalmente adequada dos rejeitos. Em seu artigo 18, condiciona a elaboração Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos pelas prefeituras como requisito à obtenção de repasses de verbas destinadas aos serviços de limpeza dos municípios. Ainda, no artigo 20 da PNRS, determina a necessidade da elaboração do Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos para empreendimentos cujos resíduos gerados, mesmo sendo caracterizados como não perigosos, por sua natureza, composição ou volume, não são equiparados aos resíduos domiciliares, como por exemplo as organizações de construção civil (BRASIL, 2010). Além disso, a PNRS institui a

responsabilidade compartilhada dos geradores na gestão dos resíduos da construção civil, atividades que abrangem a coleta seletiva, recuperação e reciclagem, tratamento e destinação final dos resíduos.

Para se propor um apropriado gerenciamento dos RCC é necessário a prévia caracterização dos resíduos gerados. Esse conhecimento norteia a definição das demais etapas do Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (PGRCC), como segregação, acondicionamento, transporte, incluindo o tratamento dos resíduos e a disposição final dos rejeitos, sendo a necessária apresentação deste plano para adequação à legislação vigente.

#### **2.4.4. RECICLAGEM DO RESÍDUO DA CONSTRUÇÃO CIVIL - RCC**

Com a crescente geração de resíduos sólidos resultantes da construção civil cresce também a exigência por soluções mais diversificadas. Uma solução viável para minimizar ou até mesmo resolver os problemas causados pela disposição inadequada dos resíduos sólidos da construção civil e da carência de locais para a deposição desses resíduos é a reciclagem (Figura 9), pois possibilita a reinserção desses materiais no processo construtivo como matéria-prima e, conseqüentemente, reduz o seu descarte e encaminhamento para aterros.

**Figura 9 - Agregados reciclados de concreto. Fonte: MOTTA (2005).**



Segundo Costa et al. (2007), os resíduos da construção civil são compostos em sua maioria por materiais considerados inertes, como restos de argamassa, tijolo, alvenaria, concreto, cerâmica, gesso, madeira, metais, entre outros. A reciclagem de RCC traz benefícios econômicos e ambientais, visto que além de diminuir os custos de gerenciamento do resíduo, o valor do agregado reciclado, geralmente, é menor que o agregado natural.

Trichês e Kryckyj (1999) ressaltam em sua pesquisa a redução de despesas públicas ao adotar a reciclagem do RCC, visto que essa medida inibe os gastos adicionais para a remoção de resíduos de áreas de descargas clandestinas, além de reduzir os gastos com aterros, já que a correta destinação do RCC possibilita um aumento na vida útil dos aterros.

De acordo com Scheneider (2003), a partir do início dos anos 1980, tanto a reciclagem quanto a minimização de resíduos passaram a ser uma pauta importante no setor da construção civil devido à escassez de áreas para disposição final de RCC na Europa. Principalmente, num cenário pós guerra mundial foi que os agregados reciclados passaram a ser uma alternativa

importante na reconstrução das cidades. Em virtude disso, diversas políticas públicas foram implementadas com o objetivo de reduzir a geração de RCC a partir da sua reutilização.

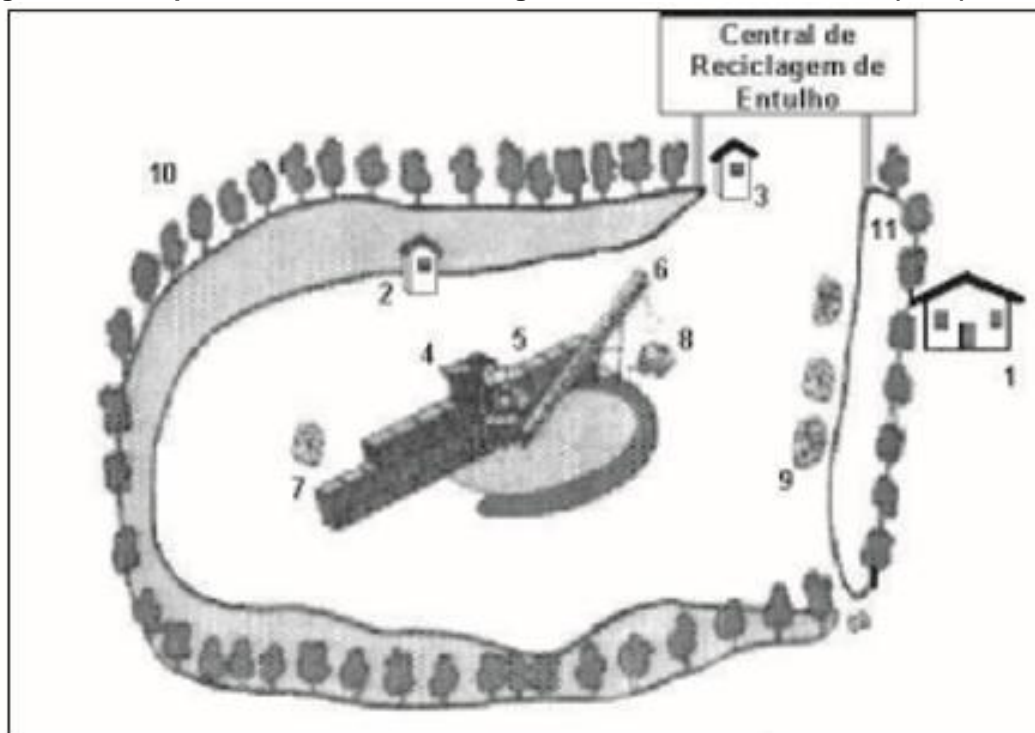
Já no Brasil, segundo Pinto (1999) estudos sobre a reciclagem de RCC datam de 1983. Entretanto, de acordo com Levy e Helene (1997), somente no final de 1995 as primeiras usinas de reciclagem começaram efetivamente a operar, em escala industrial.

#### **2.4.5. Processo de Reciclagem**

O processo de reciclagem do RCC do tipo classe A, geralmente é feita através das usinas recicladoras que apresentam uma estrutura muito semelhante a uma usina de britagem convencional, utilizando os mesmos equipamentos empregados na produção de agregados naturais, entretanto, é necessário que se realize algumas etapas de limpeza e seleção.

De acordo com Monteiro et al (2001) com relação ao funcionamento das usinas de reciclagem no país, o material a ser processado sofre uma segregação prévia das ferragens, pois não é recomendável a trituração conjunta dos materiais. Este método é conhecido como semiautomático. A Figura 10 apresenta o croqui de uma usina de reciclagem de resíduos.

Figura 10 - Croqui de uma usina de reciclagem. Fonte: MONTEIRO et al. (2001).



- |                        |                           |                     |
|------------------------|---------------------------|---------------------|
| 1 Administração        | 5 Britador                | 9 Pátio de recepção |
| 2 Cabine de comando    | 6 Correia transportadora  | 10 Cinturão verde   |
| 3 Guarita de entrada   | 7 Entulho a ser reciclado | 11 Jardim           |
| 4 Calha de alimentação | 8 Pátio de estocagem      |                     |

Segundo Luz et al. (2004) e Chaves (2002) de forma geral, este processo compreende um conjunto de operações que podem ser divididas em: concentração, cominuição, peneiramento e auxiliares. A seguir as essas operações serão detalhadas:

- **Concentração:** separação dos diferentes componentes do resíduo de construção na qual materiais indesejáveis (Figura 11) como vidro, metais, borracha, gesso e madeira são retirados por processos de catação (Figura 12) ou separação magnética.

Figura 11 - Caçamba de materiais indesejados dos resíduos da construção civil: Fonte: TAMURA (2015).



Figura 12 - Catação realizada na Usina de Reciclagem do RCC da Prefeitura de Ribeirão Preto. Fonte: Foto de divulgação da empresa SBR.



- **Cominuição (ou britagem):** redução das dimensões do material para adequar o tamanho dos grãos à sua finalidade (Figura 13). De acordo com Lima (1999) o britador de impacto, o qual a fragmentação é feita pela colisão do material em placas fixas de impacto, é um dos tipos mais usados nas recicladoras e pode ser usado tanto na britagem primária, quanto na secundária, em função da granulometria desejada. Esse processo se dá no setor primário. Monteiro et al. (2001) recomenda que o alimentador do britador esteja equipado com aspersores de água, visando minimizar a emissão de poeira, e revestimento de borracha, de forma a reduzir o nível de ruído, respeitando assim os limites estabelecidos pelos órgãos de controle ambiental.

Figura 13 - Britagem do resíduo da construção civil. Fonte: ABRECON.



- **Peneiramento:** seleção granulométrica dos grãos através da passagem por peneiras (Figura 14).

Figura 14 - Peneirador Usina Municipal de Reciclagem de Resíduos Inertes da Construção Civil de Bauru. Foto: Priscila Medeiros (2017)



- **Auxiliares:** estas operações são as que visam dar assistência ao processo de reciclagem como, por exemplo, o uso de esteiras transportadoras (Figura 15). Algumas usinas recicladoras de RCC apresentam esteiras rolantes equipadas com separador magnético, onde é feita a separação de resíduos de ferro que escaparam da triagem.

**Figura 15 - Esteira transportadoras de uma usina de reciclagem de resíduos da construção.**  
**Fonte: TAMURA (2015).**



Finalmente, após todas essas etapas, o produto final dos agregados é depositado em montes separados de acordo com a sua granulometria (Figura 16 e 17). Monteiro et al. (2001) explicam que o material estocado deve ser mantido permanentemente úmido a fim de evitar a dispersão de poeiras e de impedir seu carreamento pelo vento.

**Figura 16 - Depósito de britas recicladas da usina RCC. Fonte: TAMURA (2015).**



**Figura 17 - Depósito de areias recicladas da usina RCC. Fonte: TAMURA (2015).**





### 2.4.6. Obstáculos para Reciclagem

Ainda que a reciclagem dos resíduos da construção civil seja uma alternativa que desfruta de diversos benefícios, há alguns obstáculos que dificultam a adoção dessa medida. O primeiro é a ausência de tecnologias que aprimorem o controle tecnológico, de produção e que facilitem a caracterização dos agregados e a garantia de suas características. O professor Vanderley John (2000), do Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica da USP, afirma que resultados de pesquisas anteriores demonstram que as características dos resíduos de construção são muito variáveis e que as tecnologias existentes não conseguem medir essas características em tempo real, de forma que mesmo agregados reciclados de excelente qualidade são empregados em funções menos exigentes, desvalorizando o produto.

Outro grande obstáculo é o referente à contaminação do resíduo, visto que estes contaminantes podem afetar tanto a qualidade técnica do produto contendo o reciclado quanto significar riscos ambientais. Segundo John e Rocha (2003), no Brasil as caçambas para recolhimento do RCC são constantemente usadas para o depósito de outros tipos de resíduos (Figura 18), como restos de comida, móveis velhos, plantas e vegetais em geral, entre outros., o que facilita a contaminação do RCC por outros resíduos. Além disso, há a contaminação do RCC no próprio canteiro de obras com materiais considerados indesejados na reciclagem. De acordo com Bernucci et al (2006), mesmo com a separação feita previamente nas obras, quase sempre há presença desses materiais no agregado reciclado, como vidro triturado, que dificulta a trabalhabilidade de um concreto; alto teor de álcalis, que afeta a sua resistência e durabilidade a longo prazo; alumínio e outros metais, que provocam expansão excessiva por reagirem com soluções alcalinas.

**Figura 18 – Resíduos da Construção Civil misturados com outros tipos de resíduos em caçambas. Foto: Aloyso Tancredo.**



Para John e Agopyan (2000) outro material a ser considerado como limitante para o processo de reciclagem do RCC é o gesso, pois além de ser um produto solúvel em água, apresentam reações expansivas com o cimento Portland. Portanto, a introdução de painéis de gesso acartonado na construção de divisórias no mercado brasileiro pode significar a médio prazo um sério limitador às atividades de reciclagem do RCC, caso não venha acompanhado de medidas e políticas dentro das obras que visem a separação prévia e a reciclagem do gesso.

Finalmente, outro obstáculo enfrentado é a questão do custo, visto que o processo de britagem utilizado para a reciclagem do resíduo da construção civil é um processo caro. Entretanto, Mehta e Monteiro (2000) mostraram em sua pesquisa que o uso do agregado reciclado vem a ser economicamente viável em locais, onde agregados de boa qualidade são escassos e quando o custo de disposição do entulho é incluído na análise econômica

## **2.5. PNEUS INSERVÍVEIS**

O pneu, tecnicamente conhecido como pneumático, consiste em um tubo de borracha cheio de ar que, ajustado ao aro de uma roda, permite a locomoção do veículo absorvendo os impactos com o solo.

O ciclo de vida útil do pneu tradicional é composto, geralmente, de cinco etapas principais, compreendidas por extração das matérias-primas, produção, consumo (uso), coleta de pneus usados e, posteriormente, gestão de resíduos gerados por esses pneus. Portanto, ao observar o ciclo do pneu é possível constatar que são materiais que não possuem um tempo determinado para decomposição. Pela Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (2004) na norma NBR10004:2004 – Resíduos Sólidos, os pneus usados, mesmo sendo classificados como inertes (Classe II-B), são considerados resíduos indesejáveis do ponto de vista ambiental. Andrietta (2002) estima em seu estudo que o tempo de decomposição de um pneu seja de aproximadamente 600 anos, não podendo ser considerado um material biodegradável, portanto sua disposição adequada é de grande importância para reduzir os danos ao meio ambiente.

De acordo com a Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos – ANIP (2017) - pneus inservíveis são pneus cuja vida útil terminou, ou seja, são pneumáticos que não têm mais a possibilidade de reaproveitamento, como recauchutagem, recapagem e remoldagem e que precisam ser dispostos corretamente de modo que não cause o desequilíbrio ecológico e ambiental.

### 2.5.1. Geração de pneus inservíveis

Anualmente, milhões de pneus são produzidos no Brasil e no mundo para atender à crescente demanda devido ao aumento na frota de veículos. As quantidades de pneus produzidos e vendidos no Brasil no período de 2010 a 2016, segundo dados da Associação Nacional de Indústria Pneumática – ANIP (2017), são mostrados na Tabela 2.

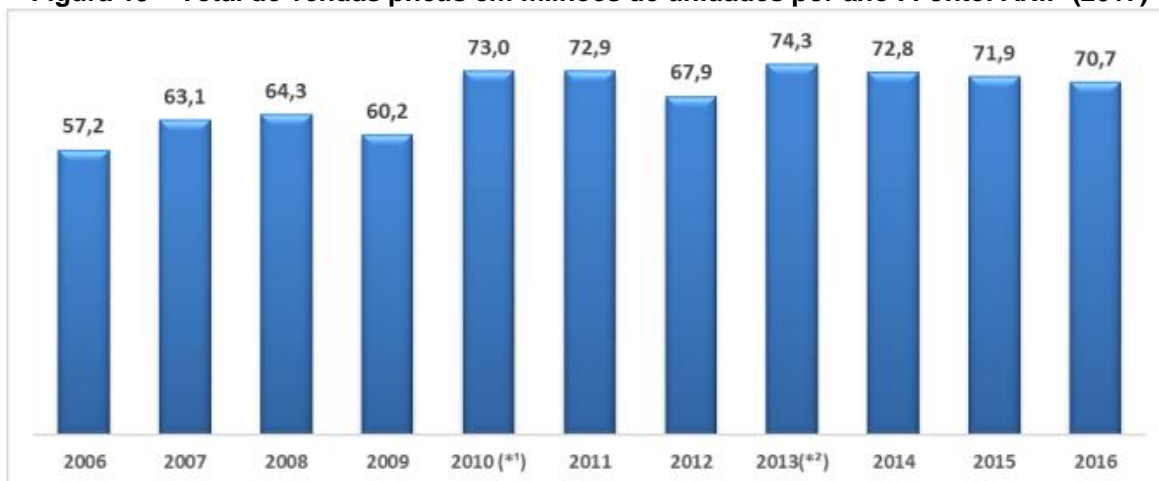
**Tabela 2 - Produção de pneus em milhares de unidades por ano. Fonte: ANIP (2017).**

Ano	Total (milhares de unidades)
2010	67305,10
2011	66926,60
2012	62661,00

2013	68888,90
2014	66730,50
2015	68631,00
2016	67870,35

Verificou-se também que no período entre os anos de 2011 e 2016, foram vendidos no Brasil 401,8 milhões de pneus (Figura 19), vale ressaltar que as vendas incluem, também, as quantidades de pneus importados. Conforme a U.S Tire Manufacturers Association (USTMA), 400 milhões de pneus foram produzidos nos Estados Unidos somente no ano de 2017, e uma pesquisa realizada, em 2009, concluiu que, em média, há o descarte de um pneu por pessoa por ano nos EUA.

**Figura 19 – Total de vendas pneus em milhões de unidades por ano . Fonte: ANIP (2017)**



Segundo Martins (2004), no Brasil, estima-se que cerca de 30 milhões de pneus fiquem inutilizados por ano. O destino desses pneus, no entanto, é um problema de difícil solução, já que ocupam bastante espaço e precisam ser armazenados em condições que evitem incêndios e disseminação de insetos e roedores, responsáveis pela transmissão de várias enfermidades.

### **2.5.2. Disposição inadequada**

A destinação inadequada de pneus gera diversos problemas, tanto ambientais quanto na saúde da população. No Brasil, estima-se que pelo menos 50% dos pneus produzidos, anualmente, estão sendo descartados e dispostos em

locais inadequados (GEIPOT, 2000). Ao serem descartados em ambientes abertos (Figura 20), além de causarem uma poluição visual, estão sujeitos a chuva, tornam-se reservatórios de água parada e, conseqüentemente, propiciando a proliferação de vetores transmissores de doenças como mosquitos, tornando-se assim um problema de saúde pública. No ano de 2016, foram registrados mais de 1,9 milhão de casos de dengue, Chikungunya e Zika no Brasil (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2016).

**Figura 20 - Pneus descartados em ambientes abertos. Foto: Carol Daemon.**



Outro problema relacionado a destinação inadequada de pneus se dá pelo fato de que são compostos de materiais altamente inflamáveis, e rotineiramente acabam sendo empilhados sem a devida precaução. Segundo Fiksel et al. (2011) essas pilhas de pneus acabam representando riscos constantes de incêndios (Figura 21), com liberação de uma grande quantidade de fumaça tóxica devido à constituição da borracha, liberando substâncias gasosas cancerígenas como carbono, enxofre, benzeno e metais pesados (zinco, cromo, cádmio e chumbo) e, conseqüentemente, contaminando o ar, o solo e a água. Além disso, na combustão dos pneumáticos há liberação de óleos tóxicos que contaminam o solo podendo atingir até o lençol freático.

**Figura 21 - Incêndio em lixão ilegal em Madri – Espanha. Foto: Sérgio Perez (2016).**



Conforme citado por Parra et al. (2010) os pneus quando jogados em córregos, lagos ou rios provocam a diminuição da calha desses corpos hídricos que, conseqüentemente, ficam mais passíveis a enchentes, causando inundações às vias e residências próximas.

Já a disposição de pneus em aterros sanitários convencionais é bastante problemática, pois conforme Bertollo (2003), por serem objetos de grande volume compostos por material praticamente incompressível e de lenta degradação, os pneus acabam reduzindo significativamente a vida útil dos aterros, além de segundo Monteiro et al. (2001), causarem grande instabilidade por gerarem grandes vazios nas massas de aterro, podendo ocorrer desmoronamentos.

### **2.5.3. Gerenciamento**

Em 1999, foi aprovada a Resolução nº 258 do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA - com modificações posteriores e acrescentada pela Resolução nº 301 no ano de 2002, que determina a responsabilidade dos distribuidores, dos revendedores, dos reformadores, dos consertadores e dos consumidores finais de pneus, em articulação com os fabricantes, importadores e poder público. A partir de 1º de Janeiro de 2002 os fabricantes e importadores de pneus passaram a ser responsáveis pelo ciclo total da mercadoria, incluindo a coleta e disposição final de forma ambientalmente correta para os produtos que colocam no mercado, na proporção relativa às quantidades fabricadas e/ou importadas (Tabela 3). Inicialmente, para cada quatro pneus novos fabricados no

Brasil ou importados, os fabricantes e importadoras deverão reciclar/reutilizar um pneu inservível.

**Tabela 3 - Prazos e metas impostas aos produtores e importadores em relação à destinação de pneus inservíveis. Fonte: CONAMA nº 258/2002**

<b>Prazo a partir de</b>	<b>Pneus novos (nacionais ou importados)</b>	<b>Pneus inservíveis</b>	<b>Pneus Reformados (importados)</b>	<b>Pneus inservíveis</b>
Janeiro de 2002	4 unidades	1 unidade	-	-
Janeiro de 2003	2 unidades	1 unidade	-	-
Janeiro de 2004	1 unidade	1 unidade	4 unidades	5 unidades
Janeiro de 2005	4 unidades	5 unidades	3 unidades	4 unidades

No ano de 2009, entrou em vigor a Resolução CONAMA nº416/2009, que dispõe sobre a prevenção à degradação ambiental causada por pneus inservíveis e sua destinação ambientalmente adequada, substituindo a Resolução nº 258/1999. Essa Resolução tem como base a anterior, porém com algumas alterações e acréscimos, para uma melhor destinação, pontos de coleta e centrais de armazenamento que tem como responsáveis os próprios fabricantes e importadores, visando uma melhor logística da destinação. Conforme o Art.3º.

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. Conforme o 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, que deverá ser amplamente divulgado e disponibilizado aos órgãos do Sistema Nacional do Meio Ambiente-SISNAMA.

Portanto, a indústria da borracha é responsável por controlar a logística reversa dos pneus e destinar, adequadamente, todo tipo de material considerado inservível, isto é, incapacitado e inseguro para qualquer tipo de rodagem. Além de controlar, os fabricantes devem criar centrais de recepção do produto inservível, localizadas e instaladas de acordo com as normas ambientais vigentes, para armazenamento temporário e, posterior destinação final ambientalmente segura e adequada (CONAMA, (2002). Qualquer negligência com relação a essas Resoluções é considerada crime ambiental sob responsabilidade do Instituto

Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Renováveis - IBAMA, que punirá os infratores, com base na Lei de Crimes Ambientais.

Outro marco importante foi a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010 e regulamentada pelo decreto nº 7.404 de 23 dezembro de 2010, que reúne um conjunto de princípios, objetivos, instrumentos, diretrizes, metas e ações para uma ação integrada entre os diversos níveis de governos e instituições privadas em relação à gestão e ao gerenciamento ambientalmente adequado dos resíduos sólidos; propõe utilizar metodologias como avaliação de ciclo de vida, logística reversa, redução, reciclagem, reuso e remanufatura, ecoeficiência, entre outros, como elementos de gestão pública (BRASIL, 2010).

#### **2.5.4. Reciclagem de pneus**

Grande parte dos pneus que são descartados são aterrados, incinerados ou dispostos de alguma forma incorreta, gerando graves problemas ambientais e econômicos já citados. Uma forma de resolver esses problemas é a reciclagem, onde os pneus descartados serão 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.

Segundo Bertollo, Fernandes e Schalch (2002), a reciclagem de pneus envolve um ciclo que compreende a coleta, o transporte, a trituração e a separação de seus componentes (borracha, aço, náilon ou poliéster), transformando sucatas em matérias primas para o mercado.

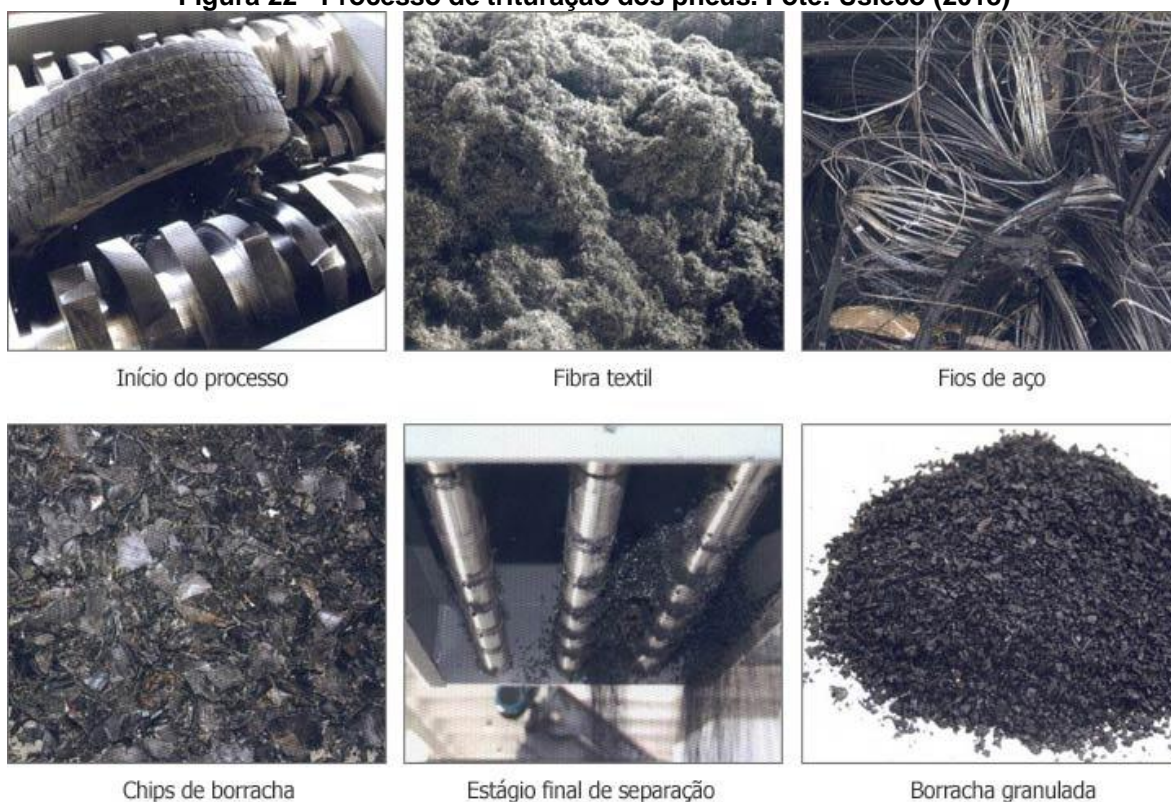
Segundo Andrietta (2002) algumas formas de aproveitamento ou reciclagem podem ser destacadas:

- **Recauchutagem ou reforma:** esse processo consiste em reformar o pneu através da substituição de sua banda de rodagem e dos seus ombros. Para realizar esse processo o pneu não deve apresentar cortes, deformações e a banda de rodagem em condições que permitam sua aderência ao solo, para que se possa realizar a reforma.



- **Recuperação:** consiste em uma primeira fase de trituração em pedaços de granulometria elevada, logo após é triturado novamente para garantir uma granulometria menor (Figura 22). O processo se repete várias vezes, o que possibilita a obtenção vários granulados de borracha até chegar ao pó fino de borracha. A partir daí não sofrerá mais modificações, pois está na sua forma vulcanizada. Os pneus recuperados são utilizados na mistura com asfalto para pavimentação e nas fábricas de cimento.
- **Regeneração ou desvulcanização:** a borracha é separada dos demais componentes e desvulcanizada, passando por modificações que a torna mais plástica e apta a receber nova vulcanização, sem as mesmas propriedades da borracha crua.
- **Pirólise Genérica:** O processo de pirólise pode ser genericamente definido como sendo o de decomposição química por calor na ausência de oxigênio

Figura 22 - Processo de trituração dos pneus. Fote: Usieco (2018)



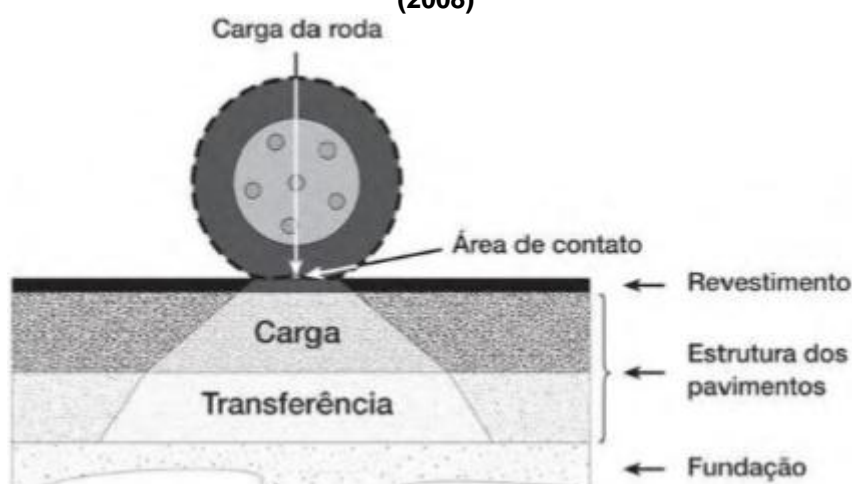
Para Lin e Teng (2002) as principais dificuldades relacionadas à reciclagem de pneus são devidas aos custos elevados, principalmente no processo de trituração, à complexa estrutura dos pneus e à composição da borracha. Entretanto, ainda assim é a melhor opção quanto à disposição final dos pneus.

## 2.6. PAVIMENTO

O pavimento de uma rodovia é uma superestrutura que do ponto de vista funcional, visa melhorar as condições de rolamento afim de permitir o maior conforto e segurança nos deslocamentos de cargas e pessoas em curta ou longa distância. De acordo com Bernucci et al (2006) o pavimento é um sistema de camadas com diferentes espessuras, sobre uma fundação chamada subleito, em que o comportamento estrutural depende da espessura de cada uma das camadas, da rigidez destas e do subleito, bem como da interação entre as diferentes camadas do pavimento.

Do ponto de vista estrutural, segundo Senço (2001) em seu manual de técnicas para pavimentação, as estruturas de um pavimento são projetadas para atenderem, a função de resistir a numerosas solicitações de carga e distribuir os esforços verticais solicitados pelo tráfego para o subleito, ou seja, a fundação (Figura 23) , dentro do período de projeto, garantindo segurança e estabilidade sem que ocorram danos estruturais fora do aceitável e previsto.

Figura 23 - Transferência de carga através da estrutura de pavimento. Fonte: WIRTGEN (2008)

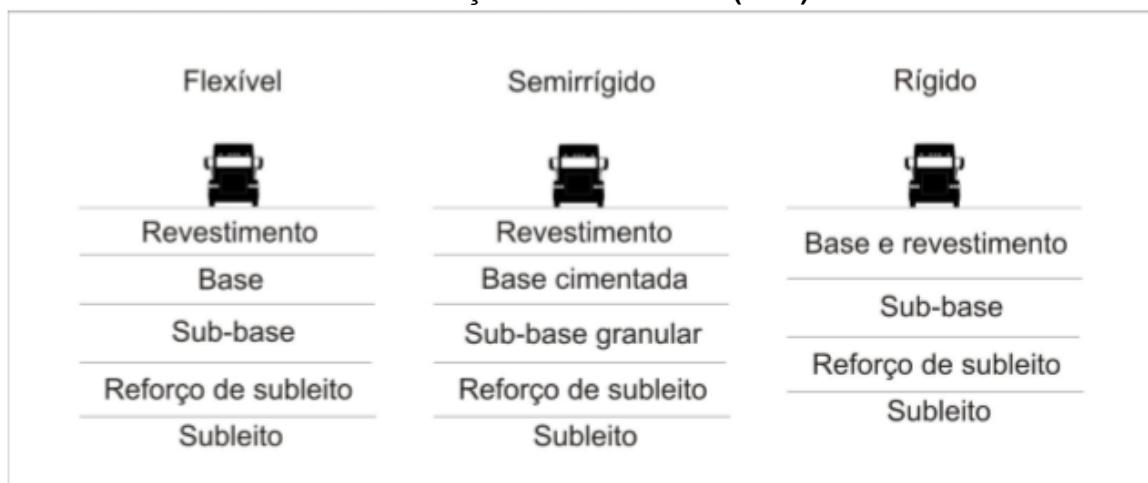


De acordo com o Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes – DNIT – no Manual de Pavimentação publicado no ano de 2006, de uma forma geral as estruturas de pavimentos normalmente são classificadas em três tipos, que se diferenciam de acordo com os materiais constituintes, os métodos

construtivos, as espessuras e quantidade de camadas, como apresentado na Figura 24, e a distribuição de carga no subleito:

- **Pavimento flexível:** são aqueles que são revestidos com materiais betuminosos ou asfálticos, em que todas as camadas sofrem uma deformação elástica significativa sob o carregamento aplicado, ou seja, a estrutura do pavimento “flete” devido às cargas do tráfego, portanto a carga se distribui em parcelas aproximadamente equivalentes entre as camadas.
- **Pavimento semirrígido:** possuem a camada de base com algum tipo de aglutinante com propriedades cimentícias revestida por uma camada de asfalto.
- **Pavimento rígido:** são aqueles compostos de um revestimento constituído por placas de concreto de Cimento Portland, ou seja, o revestimento tem uma elevada rigidez em relação às camadas inferiores, e, portanto, absorve praticamente todas as tensões provenientes do carregamento aplicado.

Figura 24 - Esquema de seção transversal das camadas de um pavimento conforme sua classificação. Fonte: RUTZEN (2015).



Ainda segundo o DNIT (2006) uma seção transversal de um pavimento apresenta diversos constituintes, os quais as espessuras e materiais são determinados por algum dos inúmeros métodos de dimensionamento. Essas camadas podem ser diferenciadas em:

- **Subleito:** é o terreno de fundação do pavimento, pode ser a estrada já com algum tempo de tráfego que será pavimentada, ou a terraplenagem já executada.
- **Regularização do Subleito:** é uma “camada” de espessura irregular, construída sobre o subleito com a finalidade de dar conformidade transversal e longitudinal ao projeto a ser executado.
- **Reforço de subleito:** É uma camada de espessura constante, construída, se necessário acima da regularização, com características geotécnicas superiores às da camada de regularização e inferiores às da camada imediatamente superior.
- **Sub-base:** é a camada complementar à base, quando por eventuais circunstâncias técnicas ou econômicas não for aconselhável construir a base sobre o reforço.
- **Base:** é a camada designada a receber e distribuir uniformemente os esforços provenientes do tráfego sobre o qual se constrói o revestimento. A base é a responsável por garantir que as tensões de flexão no revestimento não levem o pavimento ao trincamento prematuro.
- **Revestimento:** é a camada que recebe diretamente a ação de rolamento dos veículos. Esta deve ser o máximo possível impermeável e é responsável por garantir a comodidade e segurança aos usuários da rodovia, além de resistir ao desgaste e aos esforços verticais e horizontais.

### 2.6.1. Pavimentação

A pavimentação é uma prática muito importante para sociedade em diversos aspectos. É uma excelente forma de reduzir os custos referentes ao transporte de cargas e pessoas, pois ao melhorar a camada de rolamento, os custos de manutenção dos veículos reduzem. Além disso, nas vias pavimentadas, os veículos conseguem manter uma velocidade constante, reduzindo os gastos com combustíveis. Outro importante benefício é a redução de acidentes, visto que o pavimento promove uma maior segurança para o deslocamento de cargas e pessoas. Também, a pavimentação promove integração social, pois, permite o

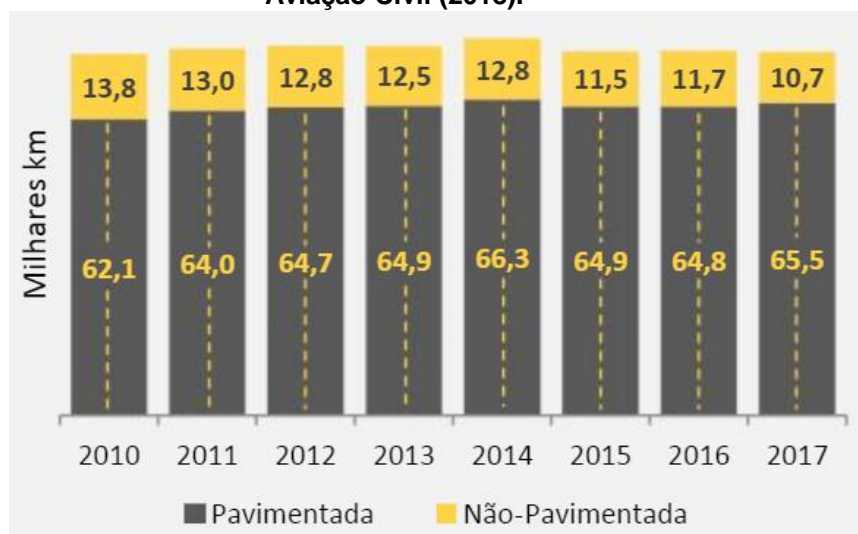
acesso garantido a diversos locais em qualquer época do ano, melhorando a qualidade de vida das pessoas.

A malha rodoviária, devido ao seu grande alcance e capilaridade dentro do território nacional, é um importante fator para o crescimento econômico e social do país. Em termos urbanos, sabe-se que há uma parcela expressiva da malha viária ainda em terra ou cascalhada, principalmente nas periferias ou em bairros mais pobres. Além disso, de acordo com o Ministério dos Transportes, Portos e Aviação Civil (2018), dos 1.563.609km da malha rodoviária do Brasil, apenas 4,9% são rodovias federais (Figura 25) e das rodovias federais presentes no Brasil, 10.700km ainda não foram pavimentados (Figura 26).

**Figura 25 - Rodovias do Brasil. Fonte: Ministério dos Transportes, Portos e Aviação Civil (2018).**

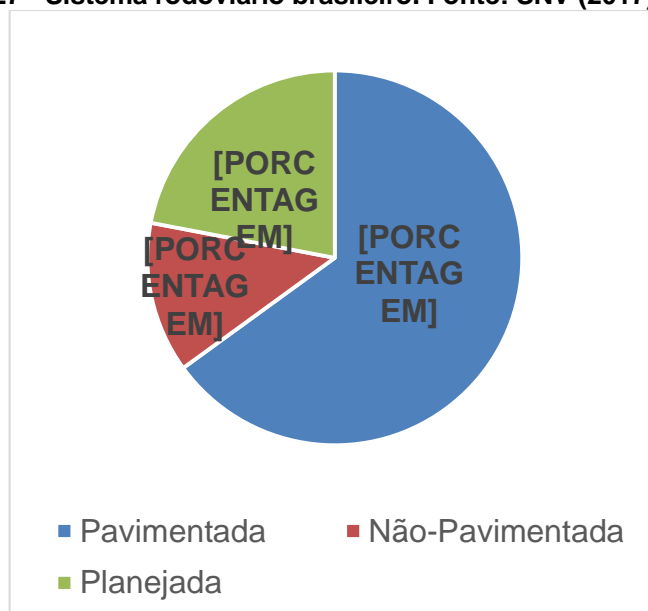


**Figura 26 - Rodovias Federais no Brasil. Fonte: Ministério dos Transportes, Portos e Aviação Civil (2018).**



Se analisado o sistema rodoviário brasileiro, torna-se perceptível a vasta extensão de rodovias não pavimentadas no território. Segundo dados divulgados, em 2017, pelo Sistema Nacional de Viação (SNV) do Ministério dos Transportes (Figura 27), cerca de 35%, ou seja, mais de 500 mil quilômetros da rede rodoviária nacional é composta por rodovias não pavimentadas ou que estão em planejamento, sendo destas 95,1% de jurisdição municipal e estadual.

**Figura 27 - Sistema rodoviário brasileiro. Fonte: SNV (2017)**



## 2.7. USO DE MATERIAIS RECICLADOS NA PAVIMENTAÇÃO

A construção de rodovias no Brasil passa por diversas dificuldades, devido ao baixo investimento público, principalmente nos últimos anos, a burocracia e o alto custo na execução das obras, além da alta taxa de deterioração das estradas em função do aumento da frota e o excesso de carga transportado dos caminhões, somados à falta de fiscalização (DNIT 2018).

Nesse contexto, Oliveira (2001) observa que uma das formas de viabilizar, economicamente, a construção de rodovias é a utilização de materiais alternativos nas camadas estruturais, como os agregados reciclados oriundos dos resíduos sólidos da construção civil nas camadas de base e sub-base e a borracha moída, derivada da reciclagem de pneus inservíveis, no revestimento com asfalto borracha, em substituição dos tradicionais, pois de possibilitarem benefícios econômicos, possibilitam benefícios ambientais.

### **2.7.1. USO DE RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO CIVIL - RCC**

O uso de agregados reciclados oriundos dos resíduos da construção civil nas camadas de base e sub-base de um pavimento (Figura 28), conforme Carneiro et al. (2001), tem sido uma das maneiras mais difundidas para o seu fim por apresentar diversas vantagens tanto do ponto de vista econômico e quanto do ambiental.

**Figura 28 - Uso de agregados reciclados de resíduos da construção civil na pavimentação.  
Fonte: ABRECON (2018)**



O principal atrativo dos agregados reciclados é o aspecto econômico, pois geralmente esses materiais apresentam preços inferiores aos dos granulares tradicionalmente empregados na pavimentação, barateando o processo de

construção do pavimento. Segundo Blanenagel e Guthrie (2006), nos Estados Unidos o agregado reciclado do RCC apresenta custo 30% menor que o da brita graduada simples. No Brasil, a Prefeitura Municipal de São Paulo, em 2005, divulgou que executava um metro cúbico de uma base com agregado reciclado por um valor cerca de 18% inferior ao do mesmo tipo de obra com uso de brita graduada simples. (Tabela 4) Além disso, há uma redução nos custos referentes ao transporte do material, pois há a possibilidade de uma melhor distribuição espacial da produção, diferente do material natural que depende das jazidas minerais.

**Tabela 4 - Preço de base de pavimento executada pela PMSP. Fonte: PMSP (2005)**

<b>Material Empregado</b>	<b>Preço (R\$/m<sup>3</sup>)</b>
Brita graduada	52,74
Brita corrida comum	45,03
Agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil	43,50

Do ponto de vista ambiental, o uso do agregado reciclado diminui a extração de agregados naturais das jazidas, reduzindo a exploração de recursos naturais. Além disso, reduz o volume de materiais depositados ilegalmente, minimizando os impactos ambientais ocasionados por essa prática.

Segundo Triches e Kryckyj (1999) do ponto de vista técnico utilizar os agregados reciclados do RCC é uma ótima opção para a pavimentação, pois é um material não plástico. Portanto, pode ser empregado em locais onde há a presença de água; é um material que apresenta a baixa ou nula expansibilidade, sendo o ideal para as camadas de base e sub-base, além disso é um material que pode ser empregado na redução da plasticidade do solo.

### **2.7.2. Aspectos Normativos**

O grande avanço da utilização do agregado reciclado de resíduos da construção civil na pavimentação no Brasil veio através das publicações realizadas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) das normas NBR 15.115 (ABNT, 2004d) e NBR 15.116 (ABNT, 2004e), que regulamentam a



utilização de agregado reciclados de resíduos da construção civil em camadas de pavimentação.

As regulamentações englobam diversos aspectos, como a qualidade dos materiais, equipamentos a serem empregados, a execução da camada e controle tecnológicos exigidos para utilização desse material.

A camada de reforço do subleito, sub-base e base de agregado reciclado deve ser executada com materiais que atendam aos seguintes específicos apresentados na Tabela 5 e gerais descritos na Tabela 6.

**Tabela 5 - Requisitos específicos para agregado reciclado destinado a pavimentação.**  
**Fonte: ABNT NBR11516.**

Aplicação	ISC (CBR) %	Expansibilidade %	Energia de Compactação
Material para execução de reforço de subleito	$\geq 12$	$\leq 1,0$	Normal
Material para execução de reforço de revestimento primário e sub-base	$\geq 20$	$\leq 1,0$	Intermediária
Material para execução de base de pavimento <sup>2</sup>	$\geq 60$	$\leq 0,5$	Intermediária ou modificada

<sup>2</sup> Permitido o uso como material de base somente para vias de tráfego com  $N \leq 10^6$  repetições do eixo padrão de 8,2tf (80kN) no período de projeto.

**Tabela 6 - Requisitos gerais para agregado reciclado destinado à pavimentação. Fonte: ABNT NBR11516.**

Propriedades	Agregado reciclado classe A		Normas de ensaios	
	Graúdo	Miúdo	Agregado graúdo	Agregado miúdo
Composição granulométrica	Não uniforme e bem graduado com coeficiente de uniformidade $C_u > 10$		NBR 7.181 (ABNT,1984c)	
Dimensão máxima característica	$\leq 63\text{mm}$		NBR NM 248 (ABNT,2003)	
Índice de forma	$\leq 3$	-	NBR 7.809 (ABNT,1983)	-
Teor de material passante na peneira de 0,42 mm	Entre 10% e 40%		NBR 7.181 (ABNT,1984c)	
Contaminantes - teores máximos em relação à massa do agregado reciclado (%)	Materiais não minerais de mesmas características <sup>1)</sup>	2	Anexo A	Anexo B
	Materiais não minerais de características distintas <sup>1)</sup>	3	Anexo A	Anexo B
	Sulfatos	2	NBR 9.917 (ABNT,1987b)	

<sup>1)</sup> Para efeito desta Norma, são exemplos de materiais não minerais: madeira, plástico, betume, materiais carbonizados, vidros e vidrados cerâmicos.

O principal critério para avaliação do emprego dos agregados reciclados em camadas de base, sub-base e reforço de subleito é o ensaio de índice de suporte Califórnia, que verifica as características mecânicas da amostra quanto à penetração.

A execução das camadas de pavimento compreende as operações de mistura e pulverização, umedecimento ou secagem dos materiais, realizadas na pista ou em central de mistura, bem como o espalhamento, compactação e acabamento na pista devidamente preparada na largura desejada, nas quantidades que permitam, após a compactação, atingir a espessura projetada. A espessura mínima de qualquer camada de base, sub-base ou reforço de subleito deve ser 10 cm após a compactação, e caso a camada de pavimento exija uma espessura final superior a 20 cm, ela deve ser substituída por camadas parciais. Apesar dessas especificações serem definidas por norma, ao serem estudados materiais alternativos como o agregado reciclado; alguns ajustes podem ser realizados desde que comprovados por meio de ensaios tecnológicos.

Já na normalização internacional sobre o uso de agregado reciclado na pavimentação há alguns destaques:

- Norma Britânica – BS 6543 (1985): *Guide to use of industrial by-products and waste materials in building and civil engineering*;
- Especificação técnica holandesa – *Standard RAW bepalingen (1995): Stichting Centrum voor Regelgeving en Onderzoek in de Grond – Water – en Wegenbouw en de Verkeerstechniek*;
- Especificação técnica alemã – TL RC-TOB (1995): *Technischen Lieferbedingungen für Recyclingbaustoffe in Tragschichten ohne Bindemittel*;
- Especificação técnica do estado de Victoria (*Road Authority of Victoria*), Austrália – Section 820 (2006): *Recycled crushed concrete for pavement subbase and light duty base*;
- Especificações técnicas dos Departamentos de Transportes dos estados da Florida e Minnesota, Estados Unidos (FDOT e Mn/DOT).

### **2.7.3. Experiência Mundial**

Muitos países já vem utilizando agregados reciclados dos resíduos da construção civil na construção de pavimentos. No Reino Unido, as pesquisas referentes a viabilidade dessa aplicação datam desde o início da década de 1990. Em 1991 O'Mahony e Milligan desenvolveram uma pesquisa quanto ao uso de agregados reciclados de concreto e alvenaria na camada de sub-base. Segundo esses pesquisadores, a utilização de agregados reciclados do RCC passou a ser amplamente estudada, pois devido ao crescente consumo de materiais da construção acreditava-se que no futuro a produção de agregados naturais não conseguiria suprir a demanda, apesar do Reino Unido ser relativamente rico em reservas naturais. O'Mahony e Milligan (1991) verificaram em laboratório as propriedades de resíduos britados de concreto e de alvenaria para emprego em camadas de sub-base em um método comparativo com as propriedades da brita calcária, material convencionalmente empregado no Reino Unido. Nos ensaios verificou-se que os resíduos britados de concreto apresentavam comportamento semelhante ao da brita calcária. Já, os resíduos britados de alvenaria apresentaram uma capacidade de suporte menor, em função da grande variabilidade da natureza de seus materiais constituintes. Entretanto, de forma

geral, todas as amostras analisadas apresentaram um índice de Suporte Califórnia superior a 30% , limite estipulado pelo Reino Unido para emprego em camada de sub-base.

Nos Estados Unidos, de acordo com o Federal Highway Administration (FHWA) desde 1997 pelo menos 20 estados americanos empregam agregados reciclados de concreto na construção de pavimentos. Estes agregados tem mostrado um desempenho excelente como material granular empregado em bases e sub-bases ao apresentar uma boa capacidade de suporte, durabilidade e drenabilidade. Em Nova Jersey, no final da década de 1990, Bennert et al. (2000) conduziram diversos ensaios a fim de determinar o módulo de resiliência e a deformação permanente do agregado reciclado de concreto. Os resultados indicaram que apesar da combinação de agregado reciclado de concreto com a brita graduada simples ter apresentado uma deformação permanente maior que a da brita simples, essa combinação apresentou um módulo de resiliência superior, sob as mesmas condições de ensaio. Na Flórida, a University of Central Florida, construiu no ano de 2000, uma Pista Circular de Testes Acelerados com nove tipos de seção, cada uma com 4m de comprimento. Entre elas, três utilizavam agregado reciclado de concreto na base. Essa pista foi submetida ao carregamento de 49kN em cada eixo com 363 000 repetições monitoradas. De acordo com Chini et al. (2001) e Kuo et al. (2001) os resultados encontrados demonstraram que nenhuma das três seções-tipo com agregado reciclado na base apresentaram trinca ou fissura por fadiga. Aliás, apresentaram um desempenho superior ao das seções-tipo construídas apenas com materiais naturais.

Em Honk Kong, Poon e Chan realizaram, em 2006, um estudo a fim de investigar a possibilidade do uso de agregados reciclados de concreto e mistos como material de sub-base de pavimentos. Pôde-se observar nos resultados que o agregado reciclado de concreto apresentou uma umidade ótima maior e peso específico aparente menor que uma brita graduada simples. Além disso, concluiu-se que o Índice de Suporte Califórnia obtido nos ensaios imersos e não imersos não apresentou diferença significativa entre o material reciclado e o natural.

Segundo dados obtidos por Leal (2001), o país que mais utiliza agregado reciclado do RCC é a Holanda, onde há um aproveitamento de aproximadamente

80% dos resíduos da construção civil gerados. Leal (2001) em sua pesquisa ainda estima que cerca de 95% de toda a base dos pavimentos das ruas do país são feitas com RCC

#### **2.7.4. Experiência Nacional**

No Brasil, o agregado reciclado de resíduos da construção civil passou a ser aplicado na pavimentação de vias no ano de 1984. A primeira via construída utilizando resíduos da construção civil foi a Rua Gervásio da Costa, localizada na zona oeste da cidade de São Paulo, que utilizou resíduos da construção civil em sua camada de reforço do sub leito. Sua construção foi acompanhada tanto na execução, quanto no desempenho, pelo Instituto de Pesquisa Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT e, de acordo com Bodi et al. (1995), na época apresentou um desempenho altamente satisfatório. Outro avanço, segundo Bodi et al. (1995), foi o programa implementado na cidade de São Paulo, em 1990, que objetivava a reciclagem de resíduos da construção civil para pavimentação, e a partir dele diversos estudos laboratoriais foram realizados, concluindo que o uso de resíduos da construção apresentava-se como uma promissora e interessante alternativa para uso em pavimentação urbana.

No estado de Minas Gerais, mais precisamente em Belo Horizonte, os agregados reciclados vem sendo utilizados na execução de revestimento primário, reforço do subleito, sub-base e base de pavimentos desde 1996, como nas avenidas Mário Werneck, Silva Lobo e Raja Gabaglia. Segundo Dias et al. (2001) entre os anos 1996 e 2001 foram utilizadas quase 137 000 toneladas de resíduos da construção civil, em 271 vias implantadas ou reconstruídas, totalizando aproximadamente 400 km de rua. De acordo com Fernandes (2004) os dimensionamentos dos projetos foram a partir de métodos empíricos, considerando, principalmente, o Índice de Suporte Califórnia (ISC).

Em Florianópolis (SC), Trichês e Kryckyj (1999) realizaram uma pesquisa sobre agregados reciclados, separando-os em frações branca (concreto e argamassa) , vermelha (telhas de barro, tijolos e outros materiais cerâmicos) e também misturados com solo areno-siltoso e argiloso. A partir dessa segregação foram realizados nas amostras ensaios de granulometria, compactação e Índice

Suporte Califórnia (ISC). Os pesquisadores concluíram que o material além de se apresentar como uma excelente alternativa para o uso em camadas de reforço do subleito e sub-base, possui potencial para ser empregado na redução de plasticidade do solo de fundação.

Em Salvador (BA), Carneiro et al. (2001), dentro do Projeto Entulho Bom, desenvolveram estudos laboratoriais com os agregados reciclados nas frações graúda e miúda, além de suas misturas com solo laterítico e saprolítico em diferentes proporções a fim de analisar a viabilidade técnica do seu emprego em pavimentos. Ensaios de caracterização mecânica foram realizados, incluindo análise granulométrica, Índice de Suporte Califórnia, compactação e abrasão “Los Angeles”. A partir desses ensaios Carneiro et al. (2001) concluíram que o agregado reciclado pode ser usado, em ambas as frações, nas camadas estruturais de base e sub-base do pavimento.

Entre os anos de 2003 e 2004 foi construído um trecho experimental de 50m empregando uma mistura de solo argiloso com agregado reciclado nas camadas de base (75%) e sub-base (83%). A pista está num local que apresenta considerável tráfego de caminhões. Foi realizado o controle tecnológico a partir dos ensaios de frasco de areia, densímetro nuclear e pressiômetro Pencil. Mendes et al. (2004) através da construção desse trecho experimental puderam constatar a viabilidade técnica do emprego de agregado reciclado em pavimentos flexíveis.

Hortegal et al. (2009) realizaram um estudo na cidade de São Luís com o objetivo de verificar a aplicabilidade de agregados reciclados de resíduos da construção civil a partir de análises laboratoriais, da composição dos resíduos e das suas propriedades mecânicas. Verificaram, então, que os resultados obtidos nos ensaios estavam todos dentro dos limites previstos por norma, inclusive o Índice de Suporte Califórnia, que é o principal parâmetro, e que portanto, os agregados reciclados podem ser utilizados como sub-base ou reforço de sub leito.

## **2.8. USO DE PNEUS INSERVÍVEIS NA PAVIMENTAÇÃO**

A correta disposição final de pneus inservíveis é um tema muito relevante em termos ambientais e econômicos, visto que grandes volumes de pneus são

gerados anualmente e, diversos problemas ambientais e econômicos podem ser causados pela sua disposição inadequada. O principal benefício da utilização da borracha, proveniente de pneus inservíveis na pavimentação é o ambiental, visto que essa medida possibilita a utilização em larga escala de um grande volume dessa material. Martins (2004) em seu estudo encontrou dados que na pavimentação de 1 quilômetro de rodovia com asfalto-borracha são utilizados de 600 a 1000 pneus inservíveis com resultados satisfatórios. Já a Greca Asfaltos (2013) em parceria com a Universidade Federal do Rio Grande do Sul, em seu informativo quadrimestral demonstrou que entre 1.000 e 1.200 pneus são consumidos para a fabricação de um quilômetro de asfalto-borracha, reduzindo o número de pneus dispostos incorretamente.

Segundo Chiu et al. (2008) a incorporação de materiais reciclados como a borracha moída proveniente dos pneus inservíveis nos pavimentos em substituição às matérias-primas de origem natural pode ser percebida como uma oportunidade de poupar recursos naturais e reduzir tanto os custos quanto os impactos ambientais associados à extração e transporte desses materiais.

De acordo com Oliveira e Castro (2007) a incorporação da borracha triturada de pneus inservíveis ao asfalto na camada de revestimento de pavimentos flexíveis (Figura 29) é uma solução promissora para a disposição final dos pneus, pois conforme a pesquisa realizada, essa medida é capaz de aumentar em mais que o dobro a durabilidade do asfalto, dependendo das condições climáticas e de carga de tráfego. Santos (2013) explica que tal fato ocorre porque a vida útil do asfalto-borracha é aproximadamente 30% maior que a do convencional. Além disso, Santos (2013) e Mattos (2009) mostraram, em suas pesquisas, que há outros benefícios na adoção dessa medida, bem como menores espessuras de revestimento no dimensionamento, maior aderência, redução dos ruídos de atrito, além da melhoria em algumas propriedades físicas, como a resistência à deformação permanente e a resistência à fadiga.

**Figura 29 - Pavimentação com recapeamento em concreto asfáltico com ligante de borracha em Curitiba. Fonte: SANCHES et al. (2012)**

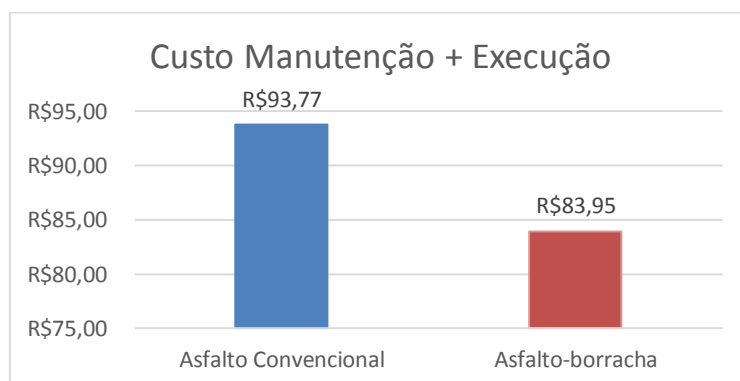


Segundo Santos (2013) as propriedades da borracha melhoram a qualidade do ligante asfáltico, proporcionando aumento da flexibilidade e tornando a mistura mais resistente ao envelhecimento e ao aparecimento de deformações e trincas, fato que aumenta a segurança dos usuários da via e reduz consideravelmente os custos dos cofres públicos com a manutenção destas. O asfalto tradicional tem uma vida útil de 10 anos em média. Por ser um produto perecível sofre um processo de envelhecimento natural do ligante asfáltico. Mas, quando se miscigena e funde-se a borracha com o asfalto, sua vida útil é de 25 a 30 anos segundo Morilha e Trichês (2003). Além disso, Heitzman (1992) e Ruth et. al (1997) observaram em seus estudos que o uso de um ligante asfalto-borracha proporciona misturas asfálticas mais resistentes às variações de temperatura, melhorando, portanto, o seu desempenho tanto em baixas quanto em altas temperaturas, quando comparados com pavimentos construídos com ligante asfáltico convencional

Conforme apresentado por Zagonel (2013) a adoção do asfalto-borracha, ou seja, a camada de revestimento que combina esses dois produtos proveniente do processo de trituração dos pneus inservíveis, é uma solução mais viável economicamente que o asfalto convencional. Apesar do custo inicial da obra ser mais elevado que o convencional (entre 30% e 60%), comprovou-se que ao considerar os custos nas etapas de execução e manutenção, há uma economia a longo prazo de aproximadamente 12% no uso do asfalto-borracha sobre o convencional, principalmente porque o asfalto-borracha apresenta uma vida útil maior (Figura 30).



**Figura 30 - Comparativo dos custos da execução e manutenção entre pavimentos com asfalto convencional e asfalto-borracha. Fonte: SANCHES et al. (2012).**



### **2.8.1. Processo de incorporação da borracha de pneus inservíveis**

A borracha proveniente de pneus inservíveis é vulcanizada e, serve para ser utilizada modificador de ligantes asfálticos na construção da camada de revestimento de pavimentos flexíveis. Conforme Bertollo et al. (2002), após ser submetida ao processo de trituração, a borracha moída pode ser incorporada às misturas asfálticas através de dois processos: o processo úmido (wet process) ou o processo seco (dry process).

O processo úmido, de acordo com Bertollo et al. (2002) consiste na incorporação de partículas finas de borracha ao cimento asfáltico que resulta em um ligante denominado asfalto-borracha. Wickboldt (2005) destaca que nesse modalidade a borracha é previamente misturada ao ligante, modificando-o permanentemente. Além disso, esse processo possibilita a transferência mais efetiva das características de elasticidade e resistência ao envelhecimento para o ligante asfáltico original. Segundo Kamimura (2002) o pó de pneus representa de 5% a 25% da massa do ligante e 1,5% da massa total da mistura obtida por esse processo. De acordo com Specht (2004) a principal tecnologia utilizada aqui no Brasil é a *terminal blending* que a qual caracteriza-se pela produção do ligante utilizando o processo úmido em distribuidoras de produtos asfálticos (Figura 31). Após a produção esse ligante poderá ser transportado ao local de aplicação ou estocado para usos futuros.

**Figura 31 - Planta de produção do concreto asfáltico usinado a quente modificado por borracha (asfalto-borracha). FONTE: Rubberized Asphalt Concrete Technology Center - RACTC (2001).**



No processo seco, segundo Bertollo et al. (2002), as partículas de borracha substituem parte dos agregados pétreos na mistura, que após a adição do ligante passam a formar um produto denominado “concreto asfáltico modificado com adição de borracha”. Neste caso, a borracha é introduzida diretamente no misturador da usina de asfalto e por isso, de acordo com Wickboldt (2005), a transferência de propriedades importantes da borracha ao ligante é prejudicada, embora seja possível agregar melhorias à mistura asfáltica, desde que na sua fabricação seja possível obter uma mistura homogênea. Nesse processo, conforme Kamimura (2002), os grânulos de borracha representam em torno de 0,5% a 3% da massa total dos agregados.

## 2.8.2. Experiência Mundial

Os Estados Unidos são uma das principais referências mundiais no que se refere ao uso da borracha proveniente da trituração de pneus inservíveis nas camadas de revestimento de pavimentos flexíveis. De acordo com Oda e Fernandes (2001) o interesse surgiu após grandes incêndios de pneus que causaram a contaminação do ar, da água e do solo no país. A partir disso desenvolveram-se pesquisas visando à reutilização de borracha de pneus em obras de engenharia. Em 1991, a Lei sobre a Eficiência do Transporte Intermodal de Superfície (Public Law 102-240 - Istea, 1991) obrigou os Departamentos de

Transportes Estaduais (DOTs) e a Agência de Proteção Ambiental (EPA), em cooperação, a desenvolver estudos para utilizar pneus na construção de pavimentos asfálticos. A partir disso, os estados americanos começaram a construir pavimentos asfálticos com borracha de pneus descartados moída. Conforme Epps (1994) em 1994, cerca de 5% de pavimentos asfálticos, foram construídos com borracha de pneus descartados moída; em 1995, 10%; em 1996, 15% e a partir de 1997, 20%. Até o início da década de 1990 já existiam cerca de 16.000 quilômetros de rodovias construídas com o asfalto-borracha. Segundo Chouvane et al. (1999), como resultado desta iniciativa e também devido ao melhoramento técnico promovido pela adição de borracha ao ligante, o estado do Arizona possui mais de 80% de sua malha viária revestida com misturas com borracha.

De acordo com Pinheiro (2004), devido aos benefícios econômicos, técnicos, e, principalmente, ambientais na utilização do asfalto-borracha, outros países também vem desenvolvendo pesquisas referentes ao assunto, podendo-se citar: França, Alemanha, Bélgica, África do Sul, Marrocos, Inglaterra, México, Argentina, Itália, Portugal, Israel, Japão, entre outros.

### **2.8.2.1. Experiência Nacional**

No Brasil, há 17 anos o asfalto-borracha vem sendo utilizado na pavimentação de rodovias. Em 2001, após diversas pesquisas, o asfalto-borracha foi utilizado pela primeira vez pela Greca Asfaltos, em um trecho que fica entre Guaíba e Camaquã, no Rio Grande do Sul. Na época foi feita a realização de um comparativo com um trecho com as mesmas características estruturais, mas utilizando asfalto convencional (CAP20). Ambos os trechos foram monitorados, no de ligante CAP 20 e observou-se a presença de um trincamento acentuando, enquanto com o que utilizou o asfalto-borracha quase não observou-se a presença de trincas por fadiga. (GRECA 2009).

Em 2003, outro estudo foi desenvolvido na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), em Porto Alegre, e acompanhado pela empresa Greca (2009). Duas pistas experimentais foram construídas, uma com revestimento em CBUQ com ligante CAP 20 e outra com asfalto-borracha. No final do

monitoramento concluiu-se que o recapeamento com concreto asfáltico com ligante modificado com borracha teve um comportamento muito superior ao recapeamento com asfalto convencional, e que na pista onde foi empregada o asfalto-borracha praticamente não houve reflexão de trincas, diferente do convencional, que apresentou reflexão total de trincas e surgimento de trincas de fadiga em áreas não trincadas.

Em 2004, foi construído um trecho experimental em Salvador (BA), na Av. General Graça Lessa. De acordo com Oda et al. (2005) o revestimento utilizando a borracha proveniente do processo de trituração de pneus inservíveis apresentou ganhos de atrito e de drenabilidade superficial, o que garantiu boa visibilidade e redução da aquaplanagem, além disso o pavimento não apresentou deformação permanente e houve uma redução no nível de ruído.

Ainda em 2004, conforme a Agência de Transporte do Estado de São Paulo - ARTESP – foram recapeados aproximadamente 165,5 km de vias administradas pelo Sistema Intervias utilizando o asfalto-borracha.

Mais recentemente, em 2011 a Rodovia RJ-122 foi recapeada do trecho da rodovia que liga Cachoeiras de Macacu a Guapimirim no estado do Rio de Janeiro. Nessa obra, foram utilizados cerca de 430 mil pneus reciclados.

### **3. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Nos últimos anos com o aumento do consumo, e, conseqüentemente, da geração de resíduos no Brasil e no mundo, cresceu também a preocupação ambiental referente à sua disposição adequada. A reciclagem vem se mostrando como uma alternativa promissora para essa problemática, pois permite a reutilização destes resíduos, aumentando sua vida útil e reduzindo a pressão sobre a extração de recursos naturais, além de reduzir também os problemas provenientes da sua disposição inadequada, como doenças, poluição visual, redução da vida útil dos aterros, contaminação do solo, do ar e da água, assoreamento de rios, entre outros.

Neste trabalho focou-se nos resíduos da construção civil e nos pneus inservíveis, apresentando como uma alternativa a sua reciclagem e então utilização na construção de pavimentos. Observou-se que a pavimentação

asfáltica é uma excelente opção para disposição adequada desses resíduos, pois permite a utilização em larga escala de um grande volume destes, principalmente no Brasil que grande parte das suas vias ainda não foram pavimentadas. Além disso, observou-se que a utilização materiais reciclados no processo de pavimentação permitiu a redução dos custos , e em muitos casos, a melhoria nas características técnicas do pavimento quando comparado a um pavimento convencional.

Concluiu-se através da pesquisa bibliográfica e documental que há diversos benefícios sociais, ambientais e econômicos no emprego de materiais reciclados na pavimentação. Primeiramente, reduz o volume de materiais depositados de forma irregular, reduzindo os impactos ambientais causados por essa prática. Do ponto de vista econômico, permite uma redução em 30% no processo construtivo, além de reduzir os gastos públicos com a coleta dos resíduos dispostos de forma irregular. Do ponto de vista técnico, os agregados reciclados de resíduos da construção civil mostraram-se como um excelente material para emprego na redução da plasticidade do solo, além de atender as especificações exigidas por norma para ser empregado nas camadas de base, sub-base e reforço de subleito. Já o uso da borracha de pneus inservíveis para a camada de revestimento de pavimentos flexíveis, quando misturada e fundida junto com o ligante, aumentou significativamente a vida útil do pavimento, diminuindo a necessidade de manutenção deste, apresentou redução na espessura da camada de revestimento, melhorou a adesão ligante/agregado e retardou o aparecimento de fissuras e fadiga. Já do ponto de vista social a reciclagem além de melhorar a qualidade de vida da população de uma forma geral, como por exemplo reduzindo a poluição ambiental e visual, esta permite a geração de empregos, tanto no processo de coleta, quanto nas usinas de reciclagem.

Diante da exposição das pesquisas realizadas no âmbito e das aplicações práticas no Brasil e no mundo do processo de pavimentação, a aplicação de materiais reciclados, no caso dos resíduos da construção civil em camadas de base, sub-base e reforço de subleito, e da borracha de pneus inservíveis nas camadas de revestimento de pavimentos flexíveis, observou-se que em ambos os casos essas práticas além de serem benéficas ao meio ambiente, pois

possibilitam uma redução significativa de resíduos dispostos incorretamente, são uma solução viável tanto tecnicamente, quanto economicamente, sendo assim, uma alternativa promissora. Entretanto, não foram encontrados na pesquisa bibliográfica estudos laboratoriais referentes ao comportamento mecânico e a aplicação prática de pavimentos construídos completamente com materiais reciclados.

### **3.1. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

Como prosseguimento nos estudos relacionados a este trabalho propõem-se as seguintes continuações:

- Análise do comportamento mecânico de um pavimento construído completamente com materiais reciclados, a partir da construção de uma pista de teste;
- Fazer um estudo de carga e tráfego máximo que um pavimento construído com materiais reciclados pode suportar;
- Fazer um estudo comparativo entre um pavimento tradicional e um completamente reciclado, considerando a fatores econômicos e técnicos.

## REFERÊNCIAS

ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública de Resíduos Especiais. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2016**, 2016. Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2016.pdf.adicao-de-po-de-borracha-extraido-de-245173-1.asp>>. Acesso em: 22 Julho 2018.

\_\_\_\_. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2010**, 2010. Disponível em: <[www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2010.pdf](http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2010.pdf) >. Acesso em: 22 Julho 2018.

ANDRIETTA, A. J. **Pneus e meio ambiente: um grande problema requer uma grande solução**, 2002. Disponível em: <<http://www.reciclarepreciso.hpg.ig.com.br/recipientes.htm>> Acesso em: 27 de Julho de 2018.

ANIP - Associação Nacional de Indústrias de Pneumáticos. Disponível em: <<http://www.anip.org.br>>. Acessado em: 11 de Julho de 2018.

ARTESP – Agência de Transporte do Estado de São Paulo. **Intervias: Intervias completa 4 anos de obras e realizações**, 2004. Disponível em: <<http://www.artesp.sp.gov.br/noticias/noticias.asp?idNoticia=431>> Acessado em: 14 de Julho de 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004: Resíduos sólidos – Classificação**. Rio de Janeiro, 2004.

\_\_\_\_. **NBR 10005**: Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.

\_\_\_\_. **NBR 10006**: Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.

\_\_\_\_. **NBR 10007**: Amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.

\_\_\_\_. **NBR 15115**: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Execução de camadas de pavimentação – Procedimentos. Rio de Janeiro, 2004.

\_\_\_\_. **NBR 15116**: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos. Rio de Janeiro, 2004.

AZEVEDO, G. O. D., KIPERSTOK, A., MORAES L. R. S. **Resíduos da construção civil em Salvador: os caminhos para uma gestão sustentável**. Engenharia Sanitária e Ambiental, 2006; 11(1): 65-72, 2006.

BELL, S.; MORSE, S. **Sustainability Indicators: Measuring the Immeasurable?** London, UK: Earthscan Publication, 2008.

BENNERT, T.; PAPP JR, W. J.; MAHER, A; GUCUNSKI, N. **Utilization of construction and demolition debris under traffic-type loading in base and subbase applications**. Transportation Research Record, Washington, n. 1714, p.33-39, 2000.

BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L.; CERATTI, J. A. P.; SOARES, J.B. **Pavimentação Asfáltica: formação básica para engenheiros**. PETROBRAS: ABEDA. Rio de Janeiro, 2006.

BERTOLLO, S.A.M. **Avaliação laboratorial de misturas asfálticas densas modificadas com borracha reciclada de pneus**.198 f. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

BERTOLLO, S.A.M.; FERNANDES JR., J.L.; SCHALCH, V. **Benefícios da incorporação de borracha de pneus em pavimentos asfálticos**. XXVIII Congresso Interamericano de Engenharia Ambiental e Sanitária. Cancun, México, 2002. 8p. Disponível em: <[www.resol.com.br/textos/reciclagem\\_de\\_pneus.pdf](http://www.resol.com.br/textos/reciclagem_de_pneus.pdf)> Aceso: 22 de Julho de 2018

BLANENAGEL, B. J.; GUTHRIE, W. S. **Laboratory characterization of recycled concrete for use pavement base material**. Transportation Research Record, n. 1952, p. 21-27. 2006.



BODI, J. BRITO; J. A. F. ALMEIDA, S. **Utilização de entulho de construção civil na pavimentação urbana.** 29ª Reunião Anual de Pavimentação, ABPv, Mato Grosso, p. 409-463, 1995.

BRASIL - **Lei nº. 12.305, de 2 de agosto de 2010 - Política Nacional de Resíduos Sólidos.** Brasília. 2010. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm)> Acessado: 12 de Julho de 2018.

BRASIL - Ministério dos Transportes, Portos e Aviação Civil. **Anuário Estatístico de Transportes 2000 – 2017,** 2018. Disponível em: <[http://transportes.gov.br/anu%C3%A1rio\\_estatistico.html](http://transportes.gov.br/anu%C3%A1rio_estatistico.html)> Acesso em: 11 de Agosto de 2018.

BRASIL – Ministério da Saúde – Secretaria de Vigilância em Saúde. **Boletim Epidemiológico, v. 48. nº 29, 2017.** Disponível em: <<http://portalarquivos2.saude.gov.br/images/pdf/2017/setembro/15/2017-028-Monitoramento-dos-casos-de-dengue--febre-de-chikungunya-e-febre-pelo-virus-Zika-ate-a-Semana-Epidemiologica-35.pdf>> Acesso em: 02 de Agosto de 2018.

BRUNDTLAND, G. H. - **RELATÓRIO DE BRUNDTLAND - Nosso Futuro Comum.** Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento. 2 ed. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 1987. 430p.

CARNEIRO, A. P.; BURGOS, P. C.; ALBERTE, E. P. V. **Uso do agregado reciclado em camadas de base e sub-base de pavimentos.** Projeto Entulho Bom. Salvador: EDUFBA / Caixa Econômica Federal, 2001. p.190-227, 2001.

CARVALHO, M. F. **Comportamento Mecânico de Resíduos Sólidos Urbanos.** Tese de Doutorado – Escola de Engenharia de São Carlos, USP, 300p, 1999.

CEMPRE - COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM. **Pesquisa Ciclosoft 2016.** Disponível em: <<http://cempre.org.br/ciclosoft/id/8>>. Acesso em: 4 de Agosto de 2018.

CHAVES, A. P. **Teoria e prática do tratamento de minérios.** 2 ed. São Paulo: Signus, v. 1., 2002.

CHINI, A. R.; KUO, S.; ARGHAMANI, J. M.; DUXBURY, J. P. **Test of recycled concrete aggregate in accelerated test track.** Journal of Transportation Engineering. Reston, Virginia, v. 127, n. 6, p.486-492, 2001.

CHIU, C. T.; HSU, T. H.; YANG, W. F. **Life cycle assessment on using recycled materials for rehabilitating asphalt pavements.** Resources, Conservation and Recycling, v. 52, n. 3, 2008 p. 545-556, 2008.

CHOUVANE, B. SHOLAR, G. A.; MUSSELMAN, J. A., PAGE, G. C. **Ten-Year Performance Evaluation of Asphalt-Rubber Surface Mixes.** Transportation Research Record, TRR, v. 1681, n.0177, p.10-18, 1999.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 307**, de 05 de Julho de 2002. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res30702.html>>. Acesso em: 20 de Julho 2018.

\_\_\_\_\_.**Resolução nº 258**, de 26 de agosto de 1999. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res99/>> Acesso em: 01 de Agosto de 2018.

\_\_\_\_\_.**Resolução nº 348**, de 16 de agosto de 2004. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res04/res34804.xml>> Acesso em: 20 de Julho de 2018.

\_\_\_\_\_.**Resolução nº 416**, de 30 de Setembro de 2009. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res09/res41609.pdf>> Acesso em: 01 de Agosto de 2018.

CORRÊA, L. R. **Sustentabilidade na Construção Civil.** Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Construção Civil da Escola de Engenharia UFMG, 2009.

COSTA, N. DA, JUNIOR, N. DA C., LUNA, M., SELIG, P.; ROCHA, J. **Planejamento de programas de reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil: uma análise multivariada.** Engenharia Sanitária Ambiental, 12, 446 – 456, 2007.

DEUS, R. M., BATTISTELLE, R. A. G., & SILVA, G. H. R. **Resíduos Sólidos no Brasil: contexto, lacunas e tendências.** Engenharia Sanitária e Ambiental, 20(4), p. 685-698, 2015.

DIAS, J. F.L AGOPYAN, V.; BERNUCCI, L. L. B., MOURA, E. **Estudo em laboratório de resíduo da fabricação de telhas cerâmicas para uso em pavimentação.** 33ª Reunião Anual de Pavimentação, ABPv, Florianópolis, SC, 9p.  
Engenharia UFMG, 2001.

DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de Pavimentação.** Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2006.

DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. Sistema Nacional de Viação. **Quadro resumo**, 2017. Disponível em: <<http://www.dnit.gov.br/sistema-nacional-de-viacao/sistema-nacional-de-viacao>> Acesso em: 03 de Agosto de 2018.

EUROSTAT. **Recycling rate of municipal waste. 2000 - 2016.** Disponível em: <

[http://ec.europa.eu/eurostat/tgm/table.do?tab=table&init=1&language=en&pcode=cei\\_wm011&plugin=1](http://ec.europa.eu/eurostat/tgm/table.do?tab=table&init=1&language=en&pcode=cei_wm011&plugin=1)> Acesso em: 02 de Agosto de 2018.

EPPS, J.A. **Uses of recycled rubber tires in highways**. National Cooperative Highway Research Program. Synthesis of Highway Practice, Transportation Research Board, Washington, DC, n. 198, p. 1-162, 1994.

FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION. FHWA-RD-97-148. **User guidelines for waste byproduct materials in pavement construction**. Department of Transportation. Washington, 1997. Disponível em: <<http://highways.dot.gov/research/>>. Acesso em: 13 de Agosto de 2018

FIKSEL, J.; BAKSHU, B. R.; BARAL, A.; GUERRA, E.; DEQUERVAIN, B. **Comparative life cycle assessment of beneficial applications for scrap tires**. Clean Technologies Environmental Policy, v. 13, n. 1, p. 19-35, 2011.

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: 23 de Julho de 2018.

GODECK, M. V.; NAIME, R. H.; FIGEUIREDO, J. A. S. **O consumismo e a geração de resíduos sólidos no Brasil**. v(8), nº 8, p. 1700-1712, set/dez, 2012.

GRECA ASFALTOS. **Linha ECOFLEXPAVE**, 2009. Disponível em: [http://www.flexpave.com.br/leiamais\\_ecoflex/13\\_estudo\\_ecoflex\\_2009.pdf](http://www.flexpave.com.br/leiamais_ecoflex/13_estudo_ecoflex_2009.pdf)> Acesso em: 14 de Agosto de 2018.

GRECA ASFALTOS. **Contabilidade ecológica – Asfalto-borracha**, 2013. Disponível em: <[http://www.grecaasfaltos.com.br/fatos/fatos\\_25.pdf](http://www.grecaasfaltos.com.br/fatos/fatos_25.pdf)> Acesso em: 14 de Agosto de 2018.

HEITZMAN, M. **Design and construction of asphalt paving materials with crumb rubber modifier**. Transportation Research Record 1339, p. 1-8, 1992.

HORTEGAL, M. V.; FERREIRA, T. C.; SANT'ANA, W. C. **Utilização de Agregados Resíduos Sólidos da Construção Civil para Pavimentação em São Luís (MA)**. Departamento de Expressões Gráficas e Transportes, Universidade Estadual do Maranhão, 2009.

HOVE, H. **Critiquing Sustainable Development: A Meaningful Way of Mediating the Development Impasse?** Undercurrent, v. 1, n. 1, p. 48-54, 2004.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA. **Pesquisa nacional de saneamento básico - PNSB**, 2010. Rio de Janeiro, RJ, 2010.

\_\_\_\_\_. **Pesquisa nacional de saneamento básico - PNSB**, 2016. Rio de Janeiro, RJ, 2010.

JOHN, V. M.; AGOPYAN, V. **Reciclagem de Resíduos a Construção**. Universidade de São Paulo, São Paulo, 102 pp, 2000.

JOHN, V. M.; ROCHA, J. C. **Utilização de resíduos na construção habitacional**. Coleção Habitare, v.4. ANTAC, Porto Alegre, 2003.

KAMIMURA, E. **Potencial de utilização dos resíduos de borracha de pneus pela indústria da construção civil**. Florianópolis, UFSC, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2002.xv, 128 p. Dissertação: Mestrado em Engenharia Civil (Construção Civil), 2002.

KUO, S.; MAHGOUB, H. S.; ORTEGA, J. E. **Use of recycled concrete made with Florida limestone aggregate for base course in flexible pavement**. Final Report, Florida Department of Transportation. Orlando, Florida, 2001.

LEAL, U. **Sobras que valem uma obra**. Técnica – Revista de Tecnologia e Negócios da Construção, Editora PINI, (55):58-62, 2001.

LEME, S. M. **Comportamento da População Urbana no Manejo dos Resíduos Sólidos Domiciliares em Aquidauana – MS**. Geografia - v. 18, n. 1, jan./jun, p.157-192, 2009. Disponível em: <<http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/geografia>>. Acesso em: 8 de Agosto de 2018.

LEVY, S. M.; HELENE, P. R. L. **Reciclagem do entulho de construção civil, para utilização como agregado de argamassas e concretos**. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1997.

LIMA R.S.; LIMA R. R. R. **Guia para Elaboração de Projeto de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil**. 1 st ed. Curitiba: CREA-PR; 2009.

LIMA, J. A. R. **Proposição de diretrizes para produção e normalização de resíduos de construção reciclado e de suas aplicações em argamassas e concretos**. 1999. 240p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 1999.

LIN, Y. R. & TENG, H. **Mesoporous carbons from waste tire char and their application in wastewater discoloration**. Microporous and Mesoporous Materials. Vol. 54, n.1, p. 167-174, 2002.

LUZ, A. B.; SAMPAIO, J. A.; ALMEIDA, S. L. M. **Tratamento de minérios**. 4ed. Rio de Janeiro: CETEM-MCT, 867p, 2004.

MARTINS, H. A.F. **A utilização da borracha de pneus na pavimentação asfáltica**. Trabalho (Conclusão de Curso) – Universidade Anhembi Morumbi, São

Paulo-SP, 2004. Disponível em: <<http://engenharia.anhembi.br/tcc-04/civil-14.pdf>>. Acesso em: 4 de Agosto de 2018.

MATTOS, J.R.G. **Avaliação da aderência pneu-pavimento e tendências de desempenho para a rodovia BR-290 – RS**. 139p. Dissertação (mestrado), Curso de Engenharia Civil, Departamento de Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil., Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2009. MEHTA, K. P.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto Estrutura, Propriedades e Materiais**. 1 ed. São Paulo: PINI, 2000.

MENDES, T. A.; REZEND, L. R.; OLIVEIRA, J. C.; GUIMARÃES, R. C.; CARVALHO, J. C.; VEIGA, R. **Parâmetros de uma pista experimental executada com entulho reciclado**. In: Reunião Anual de Pavimentação, 35., Rio de Janeiro, 2004. Anais, Rio de Janeiro: ABPv, 2004.

MIOTTO, J. L. **Princípios para o projeto e produção das construções sustentáveis**. 1 st ed. Ponta Grossa: UEPG/NUTEAD; 2013.

MONTEIRO, J. H. P. **Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos**. Rio de Janeiro . IBAM, 2001.

MORILHA JR., A.; TRICHÊS, G. **Análise comparativa de envelhecimento em laboratório de nove ligantes asfálticos**. In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 34, 2003, Campinas. Anais... Rio de Janeiro: ABPV, 2003.

MOTTA, R. S. **Estudo Laboratorial de Agregado Reciclado de Resíduo Sólido da Construção Civil Para Aplicação Em Pavimentação de Baixo Volume de Tráfego**. Tese de Mestrado (Engenharia de Transportes). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2005.

MUCELIN, C. A.; BELLINI, M. **Lixo e Impactos Ambientais Perceptíveis no Ecosistema Urbano**. Sociedade & Natureza, v. 20 nº 1, 2008.

NAIME, R. **Gestão de resíduos Sólidos, uma abordagem prática**. Novo Hamburgo, FEEVALE, 134 p, 2005.

O'MAHONY, M.M.; MILLIGAN, G. W. E. **Use of recycled materials in subbase layers**. Transportation Research Record, Washington, n. 1310, p. 73-80, 1991.

ODA, S. & FERNANDES JR., J. L. **Borracha de pneus como modificador de cimentos asfálticos para uso em obras de pavimentação**. Acta Scientiarum, vol. 23, no. 6, p. 1589-1599, Maringá, 2001.

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. Anais...IBP, 2005.

OLIVEIRA, J. A. **Materiais alternativos de pavimentação: a necessidade de praticá-los.** Seminário de Engenharia Geotécnica. Santa Maria. Anais... Universidade Federal de Santa Maria, p25-34, 2001.

OLIVEIRA, J. O.; CASTRO, R. (2007). **Estudo da Destinação e da Reciclagem de Pneus Inservíveis no Brasil.** In: XVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 2007.

PARRA, C. V., NASCIMENTO, A. P. B.; FERREIRA, M. L. **Reutilização e reciclagem de pneus, e os problemas causados por sua destinação incorreta.** XIV Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e X Encontro Latino Americano de Pós-Graduação – Universidade do Vale do Paraíba, 2010.

PINHEIRO, J.H.M. **Incorporação de Borracha de Pneu em Misturas Asfálticas de Diferentes Granulometrias (Processos Úmido e Seco).** Dissertação de Mestrado, Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 166 fl, 2004.

PINTO, T. P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana.** São Paulo. Tese (doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 189p, 1999.

POON, C. S.; CHAN, D. **Feasible use of recycled aggregates and crushed clay bricks as unbound road sub-base.** Construction and Building Materials, v. 20, p.578-585, 2006.

PMSP - PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO. **Tabela de preços.** São Paulo, 2005. Disponível em: <[http://portal.prefeitura.sp.gov.br/secretarias/infraestruturaurbana/tabela\\_de\\_preços/0001](http://portal.prefeitura.sp.gov.br/secretarias/infraestruturaurbana/tabela_de_preços/0001)>. Acesso em: 27 de Julho 2018.

ROCHA, D. L. **Uma análise da coleta seletiva em Teixeira de Freitas – Bahia.** Revista Caminhos de Geografia, 13(44), p. 140-155, 2012.

RUTH, B.E.; TIA, M.; JONSSON, G.; SETZE, J. C. **Recycling of asphalt mixtures containing crumb rubber.** Final Report, 1 September 1994 – 30 August 1997. Florida: University of Florida. Florida Department of Transportation, United States, 1997.

RUTZEN, D. **Agregados Reciclados para Uso em Pavimentação: Efeitos da adição de Cal em Resíduos de Construção e Demolição.** Trabalho de Conclusão de Curso Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do sul. Porto Alegre, 2015.

SANCHES, Felipe G.; GRANDINI, Fernando H. B.; JUNIOR Orlei B. **Avaliação da Viabilidade Financeira de Projetos com Utilização do Asfalto-Borracha em Relação ao Asfalto Convencional.** Trabalho de Conclusão de

Curso (Graduação) - Curso Superior de Engenharia de Produção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Curitiba, 2012.

SANTOS, T. A. **Mistura asfáltica modificada por borracha de pneus inservíveis, como alternativa sustentável, para aplicação na pavimentação.** In: Simpósio Internacional de Gestão de Projetos, 2., São Paulo, SP: SINGEP e S2is. Anais... , pp.1-17, 2013.

SCHNEIDER, D. M. **Deposições irregulares da construção civil na cidade de São Paulo.** 2003. 130p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2003.

SENÇO, W. **Manual de técnicas de pavimentação.** São Paulo. Editora: Pini, v. 2, il, 2001.

SJÖSTRÖM, M.; ÖSTBLOM, G. **Decoupling waste generation from economic growth – A CGE analysis of the Swedish case.** Ecological Economics, v. 69, Issue 7. p.1545-1552, 2010.

SPECHT, L.P. **Avaliação de misturas asfálticas com incorporação de borracha reciclada de pneus.** 2004. 279 f. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

TAMURA, J. Y. **Análise de misturas solo-agregado reciclados de resíduos sólidos da construção civil, para fins de pavimentação de vias urbanas de baixo volume de tráfego.** Trabalho de Graduação em Engenharia Civil – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2015.

TRICHES, G. E KRYCKYJ, P. R. **Aproveitamento De Entulho Da Construção Civil Na Pavimentação Urbana.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOTECNIA AMBIENTAL, 4., São José dos Campos, 1999. **Anais.** São Paulo. ABMS, p. 259-265., 1999.

USTMA – UNITED STATES TIRE MANUFACTURERS ASSOCIATION. **Factbook, 2017.** Disponível em: < [https://member.ustires.org/online-store/publications?publication\\_categories=477](https://member.ustires.org/online-store/publications?publication_categories=477)> Acesso em: 08 de Agosto de 2018.

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

WIRTGEN. **Reciclagem a frio: Tecnologia de Reciclagem a Frio.** Wirtgen. 2 ed, 2008.

ZAGONEL, A.R. **Inovações em revestimentos asfálticos utilizados no Brasil.** 115p. TCC (graduação), Curso de Engenharia Civil, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, RS, 2013.