

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

ELIANE KAMIMURA

**POTENCIAL DE UTILIZAÇÃO DOS
RESÍDUOS DE BORRACHA DE PNEUS PELA
INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL**

Florianópolis

2002

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

ELIANE KAMIMURA

**POTENCIAL DE UTILIZAÇÃO DOS
RESÍDUOS DE BORRACHA DE PNEUS PELA
INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Construção Civil

Orientadora: Janaíde Cavalcante Rocha

Florianópolis

2002

ELIANE KAMIMURA

**POTENCIAL DE UTILIZAÇÃO DOS
RESÍDUOS DE BORRACHA DE PNEUS PELA
INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL**

Esta dissertação foi julgada e aprovada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil e aprovada em 16/12/2002 em sua forma final, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina.

Prof^a. Dr^a. Janaíde Cavalcante Rocha - Orientador

Prof. Dr. Jucilei Cordini - Coordenador do CPGEC

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Antônio Edésio Jungle – ECV / UFSC

Prof^a. Dr^a. Lia Caetano Bastos – UFSC

Prof^a. Dr^a. Josette L. de Sousa Melo – UFRN

KAMIMURA, Eliane

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)

Orientadora: Janaíde Cavalcante Rocha

1. Pneus 2. Pneus inservíveis 3. Recauchutagem 4. Reciclagem

I. Universidade Federal de Santa Catarina

II. Título

Aos meus pais,

Satiko Kamimura e

Yoshiharu Kamimura.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por sempre estar ao meu lado, me dando forças para vencer mais este desafio.

À Professora Janaíde Cavalcante Rocha, pela orientação e incentivo, tornando possível o término deste trabalho.

Ao Professor Cláudio Emanuel Pietrobon e a Professora Sandra Oda, por disponibilizarem tempo e atenção às minhas dúvidas no início deste trabalho.

Ao Professor Antônio Edésio Jungles, pela atenção e disponibilidade.

A todos os professores e pesquisadores das universidades e empresas que forneceram material de pesquisa para o desenvolvimento do estudo.

Aos meus pais Yoshiharu Kamimura e Satiko Kamimura, por acreditarem em mim e por estarem sempre comigo.

Aos meus irmãos Edna Kamimura Furlan e Daniel Kamimura, pela torcida e orações.

Ao meu cunhado Antônio Cláudio Furlan e aos meus tios Neli Tomoe Kamimura e Kazuo Yagi, pelo apoio e incentivo.

Aos meus amigos Aparecida, Benedito, Maria, Luciene, Marilú e Idalina, pelas orações.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, pela oportunidade de realização do mestrado fora do campus.

Ao Sr. José Carlos Arnaldi, da ANIP – Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos, por estar sempre disponível para as informações e esclarecimentos que muito contribuíram na elaboração e execução deste trabalho.

Ao Sr. Y. Kihara, da ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland, pelas informações e trabalhos fornecidos.

Aos colegas do Grupo VALORES, em especial a Niubis e Lúcio, que me deram uma atenção especial.

Aos colegas do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Maringá, pela disponibilidade e atenção.

E a todos que, de maneira direta ou indireta, contribuíram para a realização deste trabalho.

O homem que se decide a parar
até que as coisas melhorem,
verificará mais tarde que
aquele que não parou
e colaborou com o tempo
está tão adiante que
jamais será alcançado.

Artemis

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| 1. INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1 Problema e justificativa | 1 |
| 1.2 Objetivo do trabalho | 5 |
| 1.2.1 Objetivo geral..... | 5 |
| 1.2.2 Objetivos específicos | 5 |
| 1.3 Hipótese de trabalho | 5 |
| 1.4 Resultados esperados..... | 6 |
| 1.5 Estrutura do trabalho | 6 |
| 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 8 |
| 2.1 Breve histórico do desenvolvimento dos pneumáticos | 8 |
| 2.2 Componentes e materiais típicos dos pneumáticos | 8 |
| 2.3 Aplicações na Engenharia Civil | 14 |
| 2.3.1 Materiais para pavimentação asfáltica..... | 16 |
| 2.3.2 Utilização de pneus em obras geotécnicas..... | 19 |
| 2.3.2.1 Muros de contenção..... | 19 |
| 2.3.2.2 Barragens..... | 21 |
| 2.3.2.3 Controle de erosão..... | 21 |
| 2.3.2.4 Estabilização de ombreiras..... | 22 |
| 2.3.2.5 Geogrelha | 23 |
| 2.3.2.6 Aterros | 24 |
| 2.3.3 Obras de drenagem..... | 26 |
| 2.3.4 Pneus triturados utilizados como material de drenagem, cobertura ou | 26 |
| 2.3.5 Barreiras de inércia atenuadora de impactos..... | 28 |
| 2.3.6 Recifes artificiais..... | 29 |
| 2.3.7 Sistema de armazenagem de água para gramados | 29 |
| 2.3.8 Utilização de borracha reciclada moída em matriz de cimento | 30 |
| 2.3.9 Construção de casas utilizando pneus inteiros e solo | 33 |
| 3. LEGISLAÇÃO AMBIENTAL..... | 35 |
| 3.1 Aspectos da legislação ambiental quanto a problemática dos pneus inservíveis | 35 |
| 4. METODOLOGIA..... | 45 |
| 4.1 Procedimentos | 46 |

| | |
|--|----|
| 5. LEVANTAMENTO QUANTITATIVO E ANÁLISE DA GERAÇÃO E | 49 |
| 5.1 Geração e disposição final para os pneus inservíveis no mundo..... | 49 |
| 5.2 Formas de minimização dos pneus inservíveis | 52 |
| 5.2.1 Redução na fonte..... | 53 |
| 5.2.1.1 Melhoria do processo produtivo..... | 53 |
| 5.2.1.2 Reforma de pneus usados..... | 54 |
| 5.2.2 Reutilização dos pneus usados..... | 56 |
| 5.2.3 Reciclagem dos pneus inservíveis - recuperação dos materiais e energia | 57 |
| 5.2.3.1 Borracha de pneu recuperada..... | 58 |
| 5.2.3.2 Borracha de pneu regenerada ou desvulcanizada..... | 59 |
| 5.2.3.3 Processo para trituração/redução dos pneus | 60 |
| 5.2.3.4 Outras formas para trituração/redução dos pneus..... | 64 |
| 5.2.4 Recuperação de energia (queima) | 65 |
| 5.2.5 Produção de óleo e gás (pirólise) | 68 |
| 5.2.6 Compostagem..... | 69 |
| 5.2.7 Exportação | 70 |
| 5.2.8 Aterros sanitários ou depósitos próprios (monofills)..... | 70 |
| 5.3 Mercado nacional de pneumáticos | 71 |
| 5.3.1 Produção Nacional | 72 |
| 5.3.2 Importação | 74 |
| 5.3.3 Exportação | 75 |
| 5.3.4 Desempenho do Setor de Pneumáticos (1997-2002)..... | 76 |
| 5.4 Geração dos pneumáticos inservíveis no Brasil | 77 |
| 5.5 Disposição final dos pneus inservíveis no Brasil | 79 |
| 5.5.1 Programa Nacional de Reciclagem | 80 |
| 5.5.2 Ações da Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos - ANIP | 82 |
| 5.5.2.1 Sistema de coleta e destruição dos pneus inservíveis - ANIP..... | 85 |
| 5.5.3 Programa “Rodando Limpo” | 86 |
| 5.5.4 Aplicações Nacionais: Empresas recicladoras e prefeituras (obras públicas) | 87 |
| 5.5.5 Pesquisa e desenvolvimento..... | 94 |
| 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 96 |
| 6.1 Quanto às legislações referentes à pneumáticos..... | 96 |
| 6.2 Quanto as alternativas tecnológicas existentes..... | 98 |

| | |
|---|-----|
| 7. CONCLUSÃO..... | 102 |
| 7.1 Sugestões para trabalhos futuros | 103 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 105 |
| ANEXOS..... | 118 |
| A 1 – Questionário enviado às indústrias de pneumáticos nacionais e à ANIP. | |
| A 2 – Questionário enviado à ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland | |
| A 3 – Questionário enviado às indústrias beneficiadoras nacionais | |
| B – Resolução CONAMA, n.º 258/99 | |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| FIGURA 1.1 – Pneus retirados do Rio Tietê - São Paulo/SP..... | 1 |
| FIGURA 2.1 – Detalhe da estrutura do pneu | 10 |
| FIGURA 2.2 – Seção transversal do pneu automotivo | 10 |
| FIGURA 2.3 – Composição de Pneus Radiais para Automóveis | 11 |
| FIGURA 2.4 - Planta de produção do concreto asfáltico..... | 17 |
| FIGURA 2.5 – Pavimentação de rodovias. | 18 |
| FIGURA 2.6 – Estágio inicial da construção do muro:..... | 20 |
| FIGURA 2.7 – Estágio intermediário e detalhe da..... | 20 |
| FIGURA 2.8 – Final da construção do muro | 20 |
| FIGURA 2.9 – Parede de ECOFLEX™..... | 21 |
| FIGURA 2.10 – Construção de uma barreira com pneus inservíveis. | 22 |
| FIGURA 2.11 – Estabilização de ombreiras com pneus - vista do resultado final. | 22 |
| FIGURA 2.12 – Proteção de canais com pneus – aspecto do resultado final. | 23 |
| FIGURA 2.13 – Material de enchimento na parte posterior de estruturas de retenção..... | 25 |
| FIGURA 2.14 – Seção típica de estrada sobre solo mole. | 25 |
| FIGURA 2.15 – Emprego de pneus em obras de drenagem. | 26 |
| FIGURA 2.16 – Parede retentora com pneus triturados..... | 27 |
| FIGURA 2.17 – Sistema séptico de drenagem..... | 28 |

| | |
|--|----|
| FIGURA 2.18 – Superfícies de campos atléticos..... | 28 |
| FIGURA 2.19 – Superfícies de parques infantis..... | 29 |
| FIGURA 2.20 – Execução de um gramado em Santa Rosa-Califórnia, Maio/1996..... | 30 |
| FIGURA 2.21 – Execução de um gramado num campo de golf..... | 30 |
| FIGURA 2.22 – Blocos de ISOPET intertravados e Protótipo “Unidade Conhecimento”..... | 32 |
| FIGURA 2.23 – Bloco de peso leve - Rubber Soil TM | 33 |
| FIGURA 2.24 – Earthship construído no Japão..... | 34 |
| FIGURA 2.25 – Parede de pneus preenchida com barro e latas de alumínio..... | 34 |
| FIGURA 3.1 – Incêndio em pilhas de pneus em Stanislau..... | 35 |
| FIGURA 3.2 – Limpeza da área após incêndio nos estoques de pneus..... | 36 |
| FIGURA 5.1 – Depósito de pneus – USA..... | 50 |
| FIGURA 5.2 – Esquema de uma planta de reciclagem de pneus..... | 61 |
| FIGURAS 5.3 e 5.4: Borracha de pneu moída resultante da trituração mecânica..... | 61 |
| FIGURA 5.5 – Fábricas de Cimento no Brasil..... | 68 |
| FIGURA 5.6 – Distribuição da Produção de Pneus – 2001..... | 73 |
| FIGURA 5.7 – Importação de Pneus Novos, Usados e Recauchutados..... | 75 |
| FIGURA 5.8 – Destino das exportações brasileiras de pneumáticos..... | 76 |
| FIGURA 5.9 – Fluxograma do estudo de análise de ciclo de vida..... | 79 |
| FIGURA 5.10 – Ciclo de vida dos pneus de automóveis..... | 83 |
| FIGURA 5.11 – Ciclo de vida dos pneus de carga..... | 84 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| TABELA 2.1 – Composição de pneus de automóveis e caminhões..... | 12 |
| TABELA 2.2 – Relações típicas entre borracha natural e sintética em pneus..... | 13 |
| TABELA 2.3 – Características gerais de pneus usados..... | 13 |
| TABELA 2.4 – Porcentagem de arame por categoria de pneu..... | 13 |
| TABELA 2.5 – Contribuição calórica dos pneus..... | 13 |
| TABELA 5.1 – Pneus inservíveis gerados nos principais países em 1999..... | 49 |
| TABELA 5.2 – Taxa de crescimento da geração de pneus inservíveis..... | 49 |

| | |
|--|-----|
| TABELA 5.3 – Destino final para os pneus usados..... | 51 |
| TABELA 5.4 – Rendimento de produtos típicos de pneus inservíveis..... | 64 |
| TABELA 5.5 – Fabricantes de Pneus Instalados no Brasil..... | 71 |
| TABELA 5.6 – Produção de Pneus por Categoria no Brasil (inclusive radiais)..... | 72 |
| TABELA 5.7 – Produção de Pneus Radiais por Categoria no Brasil | 73 |
| TABELA 5.8 – IMPORTAÇÃO, em milhares de dólares FOB | 75 |
| TABELA 5.9 – IMPORTAÇÃO, em toneladas..... | 75 |
| TABELA 5.10 – EXPORTAÇÃO, em milhares de dólares FOB..... | 76 |
| TABELA 5.11 – EXPORTAÇÃO, em toneladas | 76 |
| TABELA 5.12 – Indústria Brasileira de Pneumáticos 2001 (em unidades)..... | 77 |
| TABELA 5.13 – Desempenho do Setor de Pneumáticos (1997-2001)..... | 77 |
| TABELA 5.14 - Metas para coleta e destruição de pneus, segundo a resolução 258/99, | 85 |
| TABELA 5.15 – Centro de Picotagem da ANIP..... | 86 |
| TABELA 5.16 – Capacidade de co-processamento das indústrias cimenteiras..... | 90 |
| TABELA 6.1 – Destino final para os pneus inservíveis no Brasil..... | 100 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|--|----|
| QUADRO 3.1 – Projetos de Lei Brasileira sobre disposição final e reciclagem de | 44 |
| QUADRO 5.1 – Métodos de reciclagem de pneus usados..... | 63 |
| QUADRO 5.2 – Resumo do potencial de utilização das principais empresas que | 90 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- ABCP** Associação Brasileira de Cimento Portland
- ABIP** Associação Brasileira da Indústria de Pneus Remoldados
- ABNT** Associação Brasileira de Normas Técnicas
- ABR** Associação Brasileira dos Recauchutadores, Reformadores e Remoldadores
- ANIP** Associação Nacional de Indústria de Pneumáticos
- ASTM** *American Society for Testing and Materials*
- CAP** Cimento Asfáltico de Petróleo
- CAUQ** Cimento Asfáltico Usinado à Quente
- CBUQ** Cimento Betuminoso Usinado à Quente
- CEMPRE** Compromisso Empresarial para Reciclagem
- CENPES** Centro de Pesquisa Leopoldo A. Miguez de Mello (Petrobrás)
- CONAMA** Conselho Nacional do Meio Ambiente
- DER** Departamento de Estradas de Rodagem
- DECEX** Departamento de Operações de Comércio Exterior
- DNER** Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
- EPA** *Environmental Protection Agency*
- FHWA** *Federal Highway Administration*
- FNMA** Fundação Nacional do Meio Ambiente
- IBP** Instituto Brasileiro de Petróleo
- IPT** Instituto de Pesquisas Tecnológicas
- ITRA** *International Tire and Rubber Association*
- IBAMA** Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
- MDIC** Ministério do Desenvolvimento da Indústria e Comércio Exterior
- RMA** *Rubber Manufacturers Association*
- SAM** *Stress Absorbing Membrane*
- SAMI** *Stress Absorbing Membrane Interlayer*
- SECEX** Secretaria de Comércio Exterior
- STMC** *Scrap Tire Management Council*
- TDF** *Tire Derived Fuel*
- USEPA** *Environmental Protection Agency - USA*
- WTMP** Waste Tire Management Program

RESUMO

A reciclagem de resíduos industriais é hoje uma necessidade para a preservação do meio ambiente, redução do custo e consumo de energia na produção de materiais e componentes de construção. No Brasil, são descartados mais de 35 milhões de pneus anualmente e existe cerca de 100 milhões de pneus abandonados no meio ambiente.

A grande quantidade produzida anualmente somada aos estoques de pneus inservíveis causam sérios problemas ambientais, sociais e econômicos; tecnologias para sua reciclagem estão sendo desenvolvidas e precisam ser melhor difundidas e, finalmente, é preciso que se esclareça, cada vez mais, a boa qualidade dos materiais confeccionados a partir da reciclagem dos pneus, de forma a ampliar a aceitação deste produto por construtores e consumidores. Estão reunidos aqui dados sobre a geração de pneus inservíveis e seus conseqüentes problemas gerados, pesquisas sobre o tema, artigos publicados por pesquisadores, bibliografias, sites na Internet, nomes e endereços de pesquisadores brasileiros e estrangeiros que trabalham com o tema.

Este trabalho tem por objetivo fazer uma análise da geração dos pneus inservíveis e dos processos existentes para seu processamento e aproveitamento pela indústria da construção civil, como forma de identificar o potencial de absorção dos pneus inservíveis pela construção civil tendo em vista os processos de transformação e beneficiamento existentes, como também as aplicações reais de valorização dos pneus na indústria da construção.

Palavras-chave: Pneus inservíveis, reutilização, reciclagem.

ABSTRACT

Nowadays the industrial waste recycling is a necessity for the environmental preservation and for the energy cost and consumption reduction concerning the production of both building material and components. In Brazil more than 35 million tires are annually discarded and there are about 100 million tires left out in the environment.

The large quantity produced every year and the scrap tires stocks cause enormous environmental, social and economical problems. Some recycling technologies are being developed and need to be widespread, it is also necessary to explain, as much as possible, the quality of the manufactured material made from tire recycling, so that more and more builders and consumers accept it. In this study data about scrap tires and the problems they bring; researches about the subject, articles published by the researchers, bibliographies, internet sites, names and addresses of Brazilian and foreigner researchers that work in this area are presented here.

This study aims at developing an analysis of the scrap tire production and the existing processes for their processing and use by the building industry as a way of identifying the scrap tires absorption index by the building industry concerning the existing changing processes, as well as the real use of the tire appreciation in the building industry.

Key words: scrap tires, reusing, recycling.

1. INTRODUÇÃO

1.1 Problema e justificativa

Um dos vários problemas que a humanidade enfrenta no início do século 21, é o problema de destinação final dos resíduos. Grandes quantidades de borracha usada na confecção de pneus para aviões, caminhões, carros, etc., são descartados quando se tornam inservíveis, isto é, quando eles não têm mais condições de serem reformados (ADHIKARI *et al.*, 2000).

A falta de alternativas viáveis para o seu reaproveitamento econômico favorece o acúmulo de pneus inservíveis em beiras de estradas, lixões, rios (FIGURA 1.1), terrenos urbanos, fundos de vale, ou simplesmente largados à céu aberto. Acarretam uma série de problemas, tais como: ocupam muito espaço e são de difícil compactação. Precisam ser armazenados em condições apropriadas para evitar riscos de incêndio e a proliferação de insetos, transmissores da dengue (*Aedes Aegypti*) e febre amarela urbana, doenças que ainda não foram erradicadas no País (CEMPRE, 2000).



FIGURA 1.1 – Pneus retirados do Rio Tietê - São Paulo/SP
(FONTE: ARESP, 1999)

A diminuição da poluição ambiental tem sido uma preocupação das entidades governamentais de proteção ao meio ambiente, que nos últimos anos tem estabelecido limites máximos para

emissões atmosféricas e para tratamento de resíduos sólidos e líquidos, além de procedimentos para a classificação e disposição de resíduos em aterros.

A queima à céu aberto, proibida por lei, libera dióxido de enxofre na atmosfera, poluindo o ar e também, libera cerca de 10 litros de óleo no solo, que percola até atingir o lençol freático, contaminando o solo e a água.

Quando colocados em lixões, acabam subindo para superfície pela absorção dos gases liberados pela decomposição da matéria orgânica. São separados e abandonados em grandes pilhas em locais abertos, junto a esses lixões (RECICLOTECA, 2002).

As formas de disposição à céu aberto e em aterros não constituem uma solução definitiva para resíduos sintéticos, como a borracha de pneu, uma vez que a taxa de degradação (não inferior a 150 anos) e a densidade do material são baixas. Além disso, quando enterrados, tendem a subir e sair para a superfície, podendo também causar escorregamento dos aterros sanitários (EPA, 1991).

A maioria dos municípios brasileiros apresentam problemas quanto à disposição final dos resíduos sólidos, pois, poucos têm aterro sanitário e a maioria destes já estão com sua capacidade perto do limite. Algumas cidades brasileiras proíbem a colocação de carcaças inteiras de pneus em aterros. Os geradores da sucata, normalmente, pagam às empresas de limpeza urbana para o recebimento do material (CEMPRE, 2000).

A disposição final de pneus inservíveis representa um problema de difícil solução, o que evidencia a necessidade da elaboração de medidas para minimizar a geração dos mesmos. Um plano de gerenciamento para os pneus descartados deve promover o controle e administração da sua geração e manejo, tratamento e disposição final, de forma integrada.

Programas que visem a minimização de pneumáticos inservíveis estão sendo desenvolvidos, com o propósito de ampliar o ciclo de vida útil dos pneus, recuperar os materiais componentes, reduzir a demanda de espaços nos aterros, minimizar os impactos ambientais, e preservar os recursos naturais. O **princípio da minimização** é obtido através da **Redução, Reutilização e Reciclagem**. Esses “**três erres**” são alguns dos preceitos básicos definidos pela **Agenda 21** para se alcançar o desenvolvimento sustentável e preservar o meio ambiente (MMA, 2002).

No Brasil, desde o dia 1º de janeiro de 2002, a disposição de pneus em lixões e aterros ou outra forma ambientalmente inadequada, é considerada como disposição ilegal, proibida por lei. Com

a publicação da **Resolução N.º 258/99**, do CONAMA, que determina responsabilidades, prazos e quantidades para a coleta, reciclagem e destino final para os pneus inservíveis existentes no território nacional. A medida foi tomada como uma tentativa de controlar o passivo ambiental representado pelo acúmulo de pneus no meio ambiente. Esta resolução se aplica a pneus novos de todos os tipos, dos de bicicleta aos de avião, fabricados no Brasil ou importados, inclusive aqueles que acompanham os veículos importados. Com isto, deu-se impulso a vários projetos de reciclagem de pneus, cujos resíduos são aproveitados como matéria-prima, fonte de energia, na pavimentação de ruas, na construção civil, na produção de combustíveis, etc. Os pneus inservíveis existentes no território nacional, deverão ser coletados e direcionados a depósitos temporários onde aguardarão uma destinação final ambientalmente adequada através de processos de reciclagem (CONAMA, 1999).

No Brasil, já existem informações sobre coletas seletivas em algumas cidades, mas nenhuma informação concreta sobre o número de pneus que são jogados no lixo, a cada ano, ou de quantos são reciclados nas incipientes indústrias que se dedicam a essa tarefa. Existem algumas metodologias aplicadas para estimar a geração de pneus inservíveis, podendo ser baseada em 50% da produção nacional (ODA, 2001) ou nas frotas de veículos em circulação no país (BERTOLLO *et al.*, 2000).

A utilização de pneus inservíveis, compreende uma gama de soluções criativas, entre estas, modalidades industriais e artesanais, com o objetivo, de transformar um resíduo sólido imprestável em novos produtos utilizáveis. Renovando com isso, uma aprendizagem dentro da sociedade de que refugo para uns, pode ser matéria-prima para outros (REIS, *et al.*, 1997).

Do ponto de vista ambiental, a reciclagem dessas matérias-primas seria a solução mais satisfatória, com a condição de se poder recuperar materiais de qualidade a um custo energético mínimo (LIU *et al.*, 1998; BERTOLLO *et al.*, 2000; ADHIKARI *et al.*, 2000).

Reciclado, o pneu pode virar tapetes para automóveis, solado de sapato, pisos industriais e borrachas de vedação. Além disso, o pó gerado na recauchutagem e os restos de pneus moídos podem ser usados, na composição de asfalto de maior elasticidade e durabilidade, e ainda, como elemento aerador de solos compactados e pilhas de composto orgânico (FRANÇA, 2001).

A Construção Civil, pela grande quantidade e diversidade de materiais que consome é um mercado, em potencial, para absorver os pneus inservíveis. Além disso, os materiais empregados

nas construções ainda são os principais responsáveis pelo custo das obras. Por isso, materiais alternativos, desenvolvidos com resíduos de pneus, podem representar uma boa alternativa para reduzir o preço das moradias.

A mistura do pó de borracha com asfalto, para a pavimentação de vias, em concentrações entre 15 a 25%, dá mais durabilidade à mistura além de baratear seu custo. Com a privatização das rodovias brasileiras, os novos concessionários buscam uma manutenção mais barata e compostos de maior durabilidade, antevendo-os como um dos grandes mercados para descarte de pneus (ANIP, 2002).

Os pneus podem ser utilizados como combustível alternativo em caldeiras de indústrias de cal e cimento, de forma inteira ou picada, aproveitando alguns óxidos contidos nos metais dos pneus radiais.

Segundo BLUMENTHAL (1997) e SZPILMAN (1999), os principais mercados para utilização de um número significativo de pneus são: combustível alternativo, produtos de borracha e aplicações na engenharia civil. Com o avanço tecnológico, surgiram novas aplicações como a mistura com asfalto, considerada nos Estados Unidos da América (EUA) uma das melhores soluções para a disposição dos milhões de pneus descartados anualmente.

Para HEITZMAN (1992) e ZANZOTTO (1996), somente dois mercados apresentam potencial para utilização de número significativo de pneus: o energético e de misturas asfálticas.

Embora estes desenvolvimentos de mercados sejam positivos, existe falta de informações sobre a situação real dos pneus descartados e as oportunidades de mercado. Os mercados estão sendo continuamente desenvolvidos e também continuamente desperdiçados. Isto foi muito evidente na indústria de cimento, um grande mercado para os pneus inservíveis. Então, para manter e aumentar o mercado para pneus inservíveis, um esforço combinado deve ser sustentado por todos os envolvidos. As concorrências, os programas de governo, o envolvimento público e a tecnologia variada continuarão desafiando bem esta indústria neste século.

Um material reciclado no mercado será viabilizado quando for ambientalmente seguro e possuir desempenho equivalente, ou melhor, que o material que vise substituir. Nos países mais desenvolvidos, como o Japão, Estados Unidos e Alemanha, pesquisas estão sendo realizadas e aplicadas com sucesso, no entanto, a disposição mais utilizada é em aterros, porém os pneus são antes triturados (CEMPRE, 2000).

1.2 Objetivo do trabalho

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo geral desta pesquisa é fazer uma análise da geração dos pneus de descartes no Brasil e dos processos existentes para seu processamento e aproveitamento pela indústria da construção civil, como forma de identificar o potencial de absorção dos pneus inservíveis pela construção civil tendo em vista os processos de transformação e beneficiamento existentes, como também as aplicações reais de valorização dos pneus na indústria da construção, à luz da Resolução N.º 258, do CONAMA, publicada em 26 de agosto de 1999.

1.2.2 Objetivos específicos

- a) Levantamento dos dados referentes à geração de pneus inservíveis;
- b) Levantamento das legislações referentes à pneumáticos;
- c) Levantamento dos processos de beneficiamento dos pneus existentes no país tendo em vista a capacidade de processamento e escoamento do material para aplicação pela indústria da construção civil;
- d) Avaliação das reais aplicações existentes, no reaproveitamento dos pneus pela construção civil;
- e) Análise da capacidade de absorção dos pneus descartados pela indústria da construção frente aos demais processos de reaproveitamento;
- f) Levantamento dos entraves existentes para absorção dos pneus de descartes pela indústria da construção.

1.3 Hipótese de trabalho

- A indústria da construção pode absorver, parcialmente, os pneus de descarte desde que as cadeias de processamento e beneficiamento assegurem a demanda de mercado.

- A valorização dos pneus de descarte, pela indústria da construção civil, demandam um beneficiamento prévio, e somente uma parcela do material processado pode ser absorvido pela construção civil.
- Os setores da construção civil que podem absorver a maior parte dos pneus inservíveis são das implantações de habitações populares e o da pavimentação.
- Existem fatores que condicionam o uso e aproveitamento dos pneus pela indústria da construção, tais como: composição química, granulometria, capacidade de trituração e moagem, etc.

1.4 Resultados esperados

Avaliar o papel da construção civil como alternativa na busca de soluções relacionadas à redução do volume de pneus de descarte.

Pretende-se ainda:

- investigar as cadeias de processamento e beneficiamento e o papel da construção civil na minimização dos pneus inservíveis;
- identificar os fatores condicionantes do uso e aproveitamento dos pneus pela indústria da construção civil;
- diagnosticar os mercados existentes para o tratamento e aproveitamento dos pneus no Brasil.

1.5 Estrutura do trabalho

- Este trabalho é composto por sete capítulos e quatro anexos.

No capítulo 1 é efetuada uma pequena introdução sobre os problemas causados pelo descarte inadequado de pneus inservíveis, a justificativa, os objetivos, as hipóteses e os resultados esperados.

No capítulo 2 é apresentada uma revisão bibliográfica, onde são abordados aspectos relativos ao desenvolvimento dos pneus, composição física e química dos pneus e um resumo das principais aplicações na construção civil.

No capítulo 3 encontra-se uma avaliação dos aspectos da legislação ambiental específica para pneus, bem como as regulamentações existentes visando promover o seu reaproveitamento.

No capítulo 4 é apresentada a descrição do procedimento para a obtenção das informações e as ferramentas utilizadas para o desenvolvimento desta pesquisa.

No Capítulo 5 é apresentado o desempenho do setor de pneumáticos (produção, exportação e importação), geração dos pneus inservíveis, análise do ciclo de vida para identificação dos pontos de coleta, disposição final dos pneus inservíveis, potencial de absorção dos pneus inservíveis pelos mercados existentes e o levantamento das pesquisas e desenvolvimentos existentes.

No capítulo 6 é apresentada uma análise e discussão referentes às legislações encontradas no Brasil e no mundo, bem como as alternativas tecnológicas encontradas para a disposição final dos pneus inservíveis.

No capítulo 7 são apresentados as conclusões e as recomendações para pesquisas futuras.

A seguir, são apresentadas as bibliografias consultadas durante a realização deste trabalho.

Os anexos “A1, A2 e A3” apresentam os questionários que foram empregados no levantamento efetuado junto às associações e empresas brasileiras e o anexo “B”, apresenta a Resolução N.º 258/99, do CONAMA.

Capítulo 2

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo são abordados aspectos relativos ao desenvolvimento dos pneus, sua composição física e química, ciclo de vida, disponibilidade e histórico do emprego da borracha reciclada de pneus na engenharia civil.

2.1 Breve histórico do desenvolvimento dos pneumáticos

Os pneus de borracha foram inventados em 1845, por R. W. Thomson, depois que o norte-americano Charles Goodyear descobriu, casualmente, o processo de vulcanização da borracha em 1839, ao deixar cair enxofre em uma amostra de borracha que estava sendo aquecida, tornando a borracha mais resistente e elástica. (GOODYEAR, 1999).

A partir da Primeira Guerra Mundial, criou-se na Alemanha a tecnologia para fabricar borracha sintética a partir do petróleo. Apesar da borracha sintética ser muito parecida com a borracha natural, ela não é tão resistente ao calor e racha com a mudança de temperatura muito rápida. Por isso, os artefatos são sempre constituídos de uma parcela da borracha natural (PETROFLEX, 2001).

As borrachas tornaram-se então substitutos das rodas de madeira e ferro, usadas em carroças e carruagens. A borracha além de ser mais resistente e durável, absorve melhor o impacto das rodas com o solo, o que tornou o transporte mais confortável e funcional. Com o desenvolvimento da indústria automobilística no século XX, o consumo de pneus atingiu números gigantescos, tornando-se fundamental e insubstituível em nossa vida diária, tanto no transporte de passageiros quanto no de cargas (PETROFLEX, 2001).

2.2 Componentes e materiais típicos dos pneumáticos

Os pneus, hoje em dia, são feitos para durar sobre condições extremas físicas, químicas e térmicas. As más condições da maioria das estradas brasileiras exigem, cada vez mais, dos pneus

e o constante aumento da frota de pesados faz com que sejam cada vez mais resistentes e duráveis. O pneu apresenta uma estrutura complexa, com o objetivo de atribuir-lhes as características necessárias ao seu desempenho e segurança, são confeccionados precisamente e projetado para ser indestrutível. Um pneu só se torna inservível quando a lona se rompe, se torna fisicamente prejudicado, ou não pode ser recauchutado (NOVICK e MARTIGNONI, 2000).

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

O pneu automotivo, radial ou convencional, é constituído de vários componentes fabricados com diversos materiais. Esses componentes têm funções específicas no desempenho e uso do pneu, e os materiais empregados em cada componente refletem essa característica. Basicamente, o pneu automotivo é constituído de uma banda de rodagem, talões, carcaça e paredes laterais, como ilustrado nas FIGURA 2.1 e FIGURA 2.2 (BNDES, 1998).

Carcaça: é a estrutura interna do pneu, com a função de reter o ar sob pressão e suportar o peso do veículo. É constituído por lonas de poliéster, náilon ou aço, dispostas no sentido diagonal, uma das outras, nos pneus ditos convencionais e no sentido radial, nos pneus ditos radiais. As lonas para pneus de carga (caminhões e ônibus) são sempre de aço.

Estes últimos contam ainda com uma série adicional de lonas, cobrindo a carcaça, denominada cinturas, com a função de estabilizar a carcaça radial. As lonas para pneus de carga (caminhões e ônibus) são sempre de aço.

Flancos: é a parte lateral do pneu e tem a função de proteger a carcaça. São constituídos por borrachas com alto grau de flexibilidade. De acordo com a carcaça, os pneus estão classificados em dois grupos, radiais e convencionais (ou diagonais). Os radiais possuem maior teor de borracha natural, que lhes proporciona, aliado aos reforços estruturais e novos desenhos da banda de rodagem, maior resistência, durabilidade, aderência e estabilidade que os convencionais (BNDES, 1998).

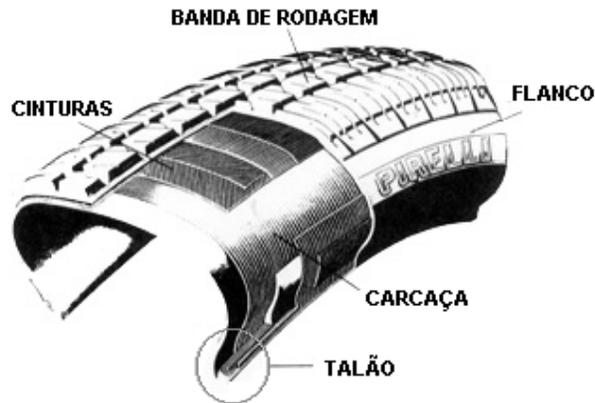


FIGURA 2.1 – Detalhe da estrutura do pneu
(FONTE: Pirelli, 2000)

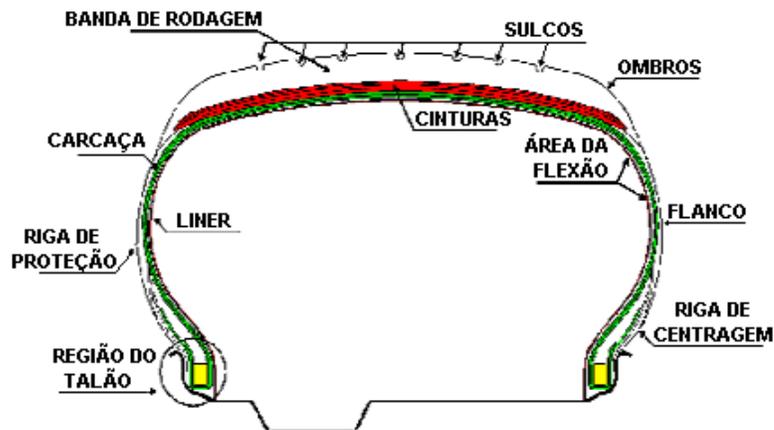


FIGURA 2.2 – Seção transversal do pneu automotivo
(FONTE: Pirelli, 2000)

Talão: possui a forma de um anel e tem a função de manter o pneu acoplado ao aro sem permitir vazamentos de ar. É constituído por diversos arames de aço de alta resistência, unidos e recobertos por borracha.

Banda de Rodagem: é a parte do pneu que entra diretamente em contato com o solo. Formada por um composto especial de borracha que oferece grande resistência ao desgaste. Seus desenhos constituídos por partes cheias (biscoitos) e vazias (sulcos), proporcionam aderência, tração, estabilidade e segurança do produto.

Apesar do custo superior, a tendência mundial é de somente serem usados os pneus radiais, que já dominam o mercado de automóveis de passeio, com 97% da produção mundial, e contam com

uma participação expressiva no mercado de caminhões e ônibus, com 45% da produção total (BNDES, 1998).

Os pneus radiais, para caminhões e ônibus, usam um teor bem maior de borracha natural (cerca de 40% em peso), que aqueles para passeio (cerca de 15% em peso) (BNDES, 1998). A FIGURA 2.3 mostra a composição típica de pneus radiais para automóveis.

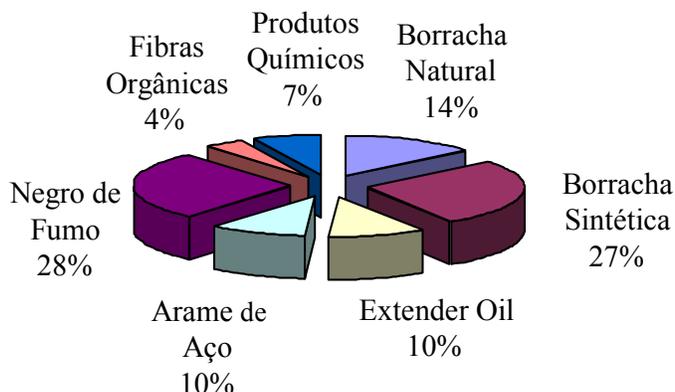


FIGURA 2.3 – Composição de Pneus Radiais para Automóveis
(FONTE: BNDES, 1998)

Uma outra classificação divide os pneus em "com câmara" e "sem câmara". A diferença principal é que, nos pneus "sem câmara", a superfície interna da carcaça possui uma camada de borracha especial, denominada "*liner*", que garante a retenção do ar. As principais vantagens dos "sem câmara" são a montagem/desmontagem mais rápida e maior segurança quando perfurados, pois perdem ar muito lentamente (BNDES, 1998).

A borracha é o principal componente dos pneus representando mais de 40% de seu peso total e pode ser classificada em dois tipos: borracha natural e borracha sintética. A borracha natural fornece as propriedades elásticas, enquanto que a borracha sintética proporciona a estabilidade térmica (RUTH et al., 1997). Dos 15 milhões de toneladas de borracha (natural e sintética) consumidas anualmente no mundo, cerca de 9 milhões de toneladas se destinam aos pneumáticos (BNDES, 1998).

No Brasil, mais de 50% do total de borracha consumida é utilizada na fabricação de pneus. Em 1996, o consumo total de borracha foi de aproximadamente 465 mil toneladas. A participação da borracha natural neste total foi de 25% enquanto a borracha sintética representou 75%. As

principais borrachas utilizadas são Borracha Natural (NR), Borracha de Estireno-Butadieno (SBR) e Borracha Polibutadieno (BR) (BNDES, 1998).

Os compostos de borrachas possuem vários aditivos adicionados durante a obtenção e o processamento do material. O negro de fumo é incorporado à borracha para aumentar a resistência mecânica dos pneus. Atualmente corresponde a cerca de $\frac{1}{4}$ do peso total de um pneu (FIRESTONE) e é responsável pelos maiores problemas ambientais enfrentados pela indústria de pneumáticos, pois dificulta a reciclagem dos pneus usados (BNDES, 1998). O enxofre também é adicionado na etapa de vulcanização. Pode haver ainda a incorporação de sílica amorfa substituindo, parcial ou totalmente, o negro de fumo. A incorporação de sílica amorfa reduz o atrito do pneu com o pavimento e melhora propriedades dinâmico-mecânicas e de processabilidade da borracha usada no pneu. Essas melhorias levam a uma redução do consumo de combustível, e conseqüentemente a uma menor emissão de gases pelos veículos. Os pneus que utilizam essa tecnologia são denominados pneus verdes (green tires) (RHODIA, 1998).

A TABELA 2.1 apresenta os componentes de pneus de automóveis e caminhões.

TABELA 2.1 – Composição de pneus de automóveis e caminhões.

| Componentes | Automóvel (%) | Caminhão (%) |
|--------------------|----------------------|---------------------|
| Borracha | 48 | 45 |
| Negro de fumo | 22 | 22 |
| Aço | 15 | 25 |
| Material têxtil | 5 | - |
| Óxido de Zinco | 1,2 | 2-2,2 |
| Enxofre | 1 | 1 |
| Outros produtos | 8 | 6 |

FONTE: BRESSI, 1993

A banda de rodagem é composta por 83% de carbono, 7% de hidrogênio, 2,5% de oxigênio, 0,3% de enxofre e 6% de cinzas (LUND, 1993).

Os pneus de automóveis são compostos por uma quantidade maior de borracha sintética, enquanto que os pneus de caminhões são compostos por uma quantidade maior de borracha natural (TABELA 2.2). A borracha natural fornece as propriedades elásticas, enquanto que a borracha sintética proporciona a estabilidade térmica (RUTH et al., 1997).

TABELA 2.2 – Relações típicas entre borracha natural e sintética em pneus.

| Tipo de Pneu | Borracha Sintética | Borracha Natural |
|----------------------------|---------------------------|-------------------------|
| Veículos de passeio | 55% | 45% |
| Veículos de cargas leves | 50% | 50% |
| Pneus de competição | 65% | 35% |
| Pneus tipo fora-de-estrada | 20% | 80% |

FONTE: SALINI, 2000

O estudo feito por SOUZA (2000), apresenta as características gerais dos pneus usados (TABELA 2.3), a porcentagem de arame de cada categoria de pneu (TABELA 2.4) e a contribuição calórica dos pneus (TABELA 2.5).

TABELA 2.3 – Características gerais de pneus usados.

| Características | Parâmetros |
|-------------------------|-------------------|
| Pneu tipo transporte | 50-60 Kg/pneu |
| Pneu tipo passeio | 7-8 Kg/pneu |
| Diâmetro externo máximo | 1.140 mm |
| Largura máxima do pneu | 380 mm |

FONTE: Souza, 2000

TABELA 2.4 – Porcentagem de arame por categoria de pneu.

| Categoria do Pneu | Tipo | % de Arame |
|--------------------------|-------------|-------------------|
| Diagonal | Transporte | 5,99 |
| | Camionetes | 4,00 |
| | Passeio | 3,00 |
| Radial | Transporte | 32,80 |
| | Camionetes | 14,85 |
| | Passeio | 16,32 |

FONTE: Souza, 2000

TABELA 2.5 – Contribuição calórica dos pneus.

| Tipo de Pneu | % Aço | Contribuição Calórica |
|----------------------|--------------|------------------------------|
| Pneu tipo passeio | 16,36% | 7.814 Kcal/Kg |
| Pneu tipo transporte | 32,80% | 6.275 Kcal/Kg |

FONTE: Souza, 2000

Várias decisões podem ser tomadas para mitigar os impactos ambientais gerados pela disposição final inadequada dos pneus inservíveis. Estas decisões podem se dar em nível gerencial, operacional ou tecnológico. No campo da engenharia civil, existem várias alternativas para o seu reaproveitamento e serão apresentadas à seguir, algumas das principais aplicações encontradas.

2.3 Aplicações na Engenharia Civil

Por muitos anos engenheiros têm testado e desenvolvido diversas aplicações para pneus inservíveis. Em 1998, a ASTM – *American Society for testing and Materials*, aprovou a norma prática para o uso de pneus inservíveis em aplicações na Engenharia Civil (ASTM D 6270-98) (RMA, 2002). Peritos americanos citam o desenvolvimento destas especificações como a chave para a expansão deste material, como também, outros mercados para os pneus inservíveis.

Estudos têm sido feitos na Universidade de Wisconsin, em Madison, pelos professores do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, para consumir grandes quantidades de pneus inservíveis (BENSON, 1995).

Pneus inteiros ou processados podem ser usados em obras de engenharia no lugar de materiais de construção convencionais. Nos últimos 10 anos, nos Estados Unidos, as aplicações na Engenharia Civil aumentou de 500 mil pneus/ano para 40 milhões de pneus/ano. Hoje, representam o 2.º maior mercado para pneus inservíveis nos Estados Unidos (RMA, 2002).

A Associação dos Fabricantes de Borracha Norte Americana (RMA), possui um inventário com diversos trabalhos e pesquisas publicados, referente as aplicações de borracha reciclada de pneus inservíveis no campo da engenharia civil.

A construção civil consome grandes quantidades de materiais, especialmente em países que, como o Brasil, continuam ampliando, significativamente, seu ambiente construído. A grande parte dos componentes necessários para a construção de habitações podem ser produzidos com materiais sem grande sofisticação técnica. A utilização de resíduos de pneus, como material de construção é uma maneira de diversificar e aumentar a oferta de materiais de construção, viabilizando eventualmente reduções de preço que gera benefícios sociais adicionais através da política habitacional. Esta situação pode ser favorecida pela adoção de medidas de incentivo específicas para a produção de habitações de baixa renda, com o intuito de resolver o problema de déficit habitacional.

As aplicações mais comuns na Engenharia Civil incluem (RMA, 2002): material de enchimento de peso leve; drenagem em campo séptico; aterro em estradas; suporte de base de estrada; sistema de drenagem de gases em aterros sanitários; material para compostagem; estabilizadores de encostas; controle de erosão, diques, barragens; isolante térmico e acústico; drenagem em aterro sanitário; aditivos para pavimentos asfálticos e pistas esportivas; cobertura de parques infantis, concretos leves, etc.

O uso de pneus triturados em vez dos materiais de construção convencionais apresentam os seguintes benefícios: densidade reduzida, melhor propriedades de drenagem e, melhor isolamento térmico e acústico (BENSON, 1995).

O pó gerado na recauchutagem e os restos de pneus moídos podem ser aplicados na composição de asfalto de maior elasticidade e durabilidade. Esta técnica é apontada hoje nos EUA como uma das melhores soluções para o fim dos cemitérios de pneus (CEMPRE, 2000).

Recentemente dois estudos foram concluídos por Dana Humphrey, presidente do Departamento de Engenharia Civil, da Universidade de Maine. Ela estudou sobre a lixiviação das substâncias de pneus inservíveis triturados colocados acima (1º estudo) e abaixo (2º estudo) do nível do lençol freático. Após 5 anos de estudo, concluiu-se que pneus processados não afetam a qualidade da água (RMA, 2002).

Com o intuito de resolver o déficit habitacional, alguns municípios americanos, como em Dakota do Sul, estão utilizando resíduos de borracha provenientes do processo de recauchutagem de pneus, em substituição a areia, na confecção de placas pré-moldadas de concreto. Trata-se de uma técnica simples e de baixo custo, para a construção de moradias.

Espera-se que as aplicações de resíduos de pneus na engenharia civil sejam mais difundidas à medida que for provada a viabilidade técnica e econômica das aplicações.

A seguir, detalhes das principais aplicações dos resíduos de pneus inservíveis no campo da construção civil.

2.3.1 Materiais para pavimentação asfáltica.

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

Em obras de pavimentação, a borracha de pneus pode ser incorporada aos materiais asfálticos através de dois processos: úmido e seco. No **processo úmido**, a borracha moída (cerca de 5 a 25% do peso total de ligante) é incorporada ao ligante asfáltico antes de se adicionar o agregado (**asfalto-borracha**), atuando como modificadora do cimento asfáltico. No **processo seco**, a borracha moída (cerca de 1% a 3% do peso total da mistura) é misturada com o agregado (**agregado-borracha**) antes de se adicionar o ligante asfáltico, em substituição de uma pequena parte dos agregados finos. As técnicas de produção de mistura para o processo seco são semelhantes às utilizadas na produção de CAUQ (Concreto Asfáltico Usinado a Quente) convencional (ODA, 2000).

O ligante asfalto-borracha tem sido aplicado em vários serviços de pavimentação, como selagem de trincas, tratamento superficiais, camadas intermediárias entre o pavimento existente e a camada de reforço e em concreto asfáltico usinado a quente. Apesar da ocorrência de defeitos na superfície de rolamento, de uma maneira geral os resultados têm sido positivos. Os principais defeitos relatados são exsudação e as trincas por contração de origem térmica, associados à dosagem inadequada do teor de asfalto-borracha. Quando comparado com o ligante convencional, pode-se verificar que a quantidade de asfalto-borracha necessária para uma determinada mistura é maior, o que justifica a exsudação, mas ao mesmo tempo proporciona uma maior durabilidade à mistura asfáltica (ODA, 2000).

Verifica-se que o selante com asfalto-borracha dura cerca de 3 vezes mais que o sem asfalto-borracha. Serviços executados com asfalto-borracha apresentam um custo aproximado de 50% maior do que os serviços executados com ligantes sem borracha. Apesar dessa diferença no custo, quando analisados em conjunto, o custo e vida útil, pode-se verificar que serviços com asfalto-borracha são mais vantajosos.

A escolha do tipo de selante varia de acordo com as características da região em que será feita a aplicação (volume de tráfego, clima etc.). Nos Estados Unidos, cerca de 80% dos estados, em todas as regiões, utilizam esse tipo de selante, com destaque para Arizona, Califórnia, Geórgia, Nebraska, New York, Pennsylvania, Texas e Wisconsin (HEIZTMAN, 1992).

Quando se adiciona borracha em uma mistura asfáltica pelo processo seco, as partículas mais finas da borracha reagem com o ligante enquanto que as partículas maiores atuam como “agregado elásticos” no concreto asfáltico. A combinação de ligante modificado e aumento da elasticidade das misturas asfálticas tende a produzir pavimentos mais resistentes à fadiga e ao trincamento a baixas temperaturas. Existem evidências, também, de que a adição de borracha triturada, dentro de certos limites, aumenta a resistência à deformação permanente em relação às misturas convencionais (BERTOLLO e FERNANDES JR., 2002).

Cada tonelada de mistura asfáltica pode incorporar a borracha de 1 a 4 pneus de veículo de passeio (BERTOLLO e FERNANDES JR., 2002) e cerca de 700 pneus por quilômetro pavimentado segundo o Grupo Greca Distribuidora de Asfalto (ABTI, 2001).

Veja na FIGURA 2.4, a planta de produção do concreto asfáltico usinado a quente (CAUQ) modificado por borracha reciclada e na FIGURA 2.5, a execução de uma pavimentação asfáltica utilizando o asfalto-borracha.

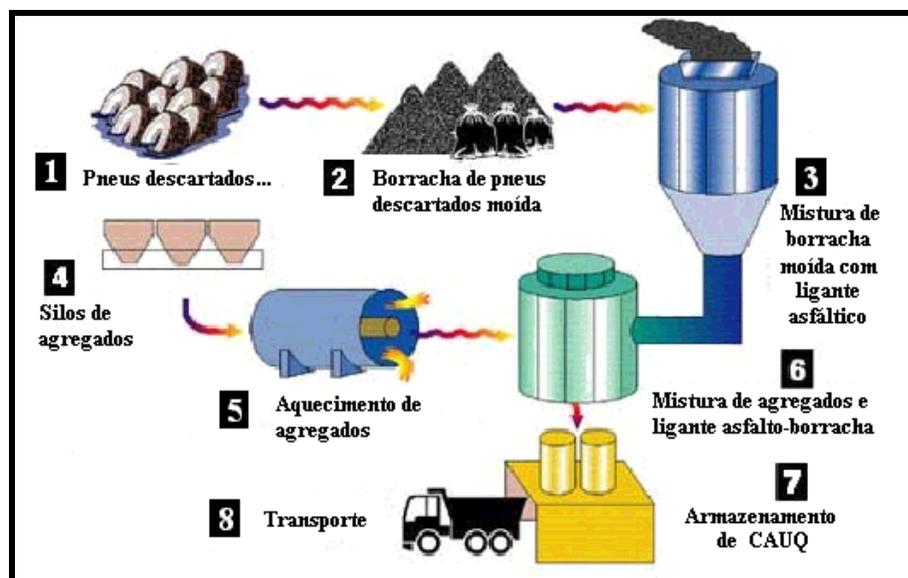


FIGURA 2.4 - Planta de produção do concreto asfáltico usinado a quente modificado por borracha (asfalto-borracha).
(FONTE: RACTC – Rubberized Asphalt Concrete Technology Center, 2001)



FIGURA 2.5 – Pavimentação de rodovias.

(FONTE: www.rubberpavement.org/newsletter/summer2000/page4.html)

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

Apesar de algumas evidências de que misturas betuminosas executadas com adição de borracha picada têm suas propriedades melhoradas, não existem resultados conclusivos sobre o desempenho dos pavimentos a longo prazo. Muito precisa ainda ser pesquisado, não só mediante ensaios tradicionalmente utilizados, mas também com ensaios e conceitos considerados durante as pesquisas de materiais betuminosos do Programa SHRP (*Strategic Highway Research Program*) (BAHIA et al., 1998).

A adição de borracha de pneus em ligantes asfálticos utilizados em obras de pavimentação representa uma alternativa para a redução do grave problema ambiental causado pela disposição inadequada de pneus usados. Ainda existem obstáculos ao emprego dessa tecnologia, principalmente de origem econômica, pois a trituração dos pneus representa um custo relativamente alto. Mas a medida em que trabalhos de pesquisa apresentarem resultados sobre a viabilidade técnica e a sociedade se conscientizar do elevado custo ambiental da disposição de pneus inservíveis, certamente o uso do ligante asfalto-borracha se disseminará (ODA, 2000).

2.3.2 Utilização de pneus em obras geotécnicas

2.3.2.1 Muros de contenção

Os estudos relacionados à utilização da técnica de pneus e solo (denominada “pneusol” ou solo-pneus) foram desenvolvidos na França, com a construção de um muro experimental de solo-pneus em Langres. As camadas horizontais de pneus eram espaçadas verticalmente em 60 cm e interligadas com alças de metal. A construção deste muro, com 5 m de altura e 10 m de extensão, demonstrou a viabilidade de execução de estruturas a partir do lançamento de camadas de pneus preenchidos com solo (LONG, 1984).

Desde então, outras estruturas, utilizando pneus, foram construídas como muros de contenção. Como exemplos, pode-se citar os muros de Ferrupt, com 54 m de extensão e 5 m de altura, e o de Bussang, contendo 6 trechos distintos num total de 650 m de comprimento e de 2 m a 7 m de altura (Long, 1990). Em Ottawa (Canadá), num aterro experimental com 4 m de altura e 17 m de extensão foi construído visando o estudo da utilização de pneus em reforço e em muros de contenção (Garga e O’Shaughnessy, 1995). Os registros disponíveis na literatura referem-se apenas aos detalhes da utilização da técnica, com poucas informações a respeito da deformabilidade do material solo-pneus.

No Brasil, a PUC-Rio/RJ vem desenvolvendo, desde 1995, um amplo projeto de pesquisa, com a participação da Universidade de Ottawa, Canadá, e da Fundação Geo-Rio, Prefeitura do Rio de Janeiro. O objetivo do projeto consiste no estudo de uma técnica de estabilização de taludes de execução simples e dirigida ao consumo substancial de pneus usados. O projeto foi centrado na construção de um muro de arrimo experimental instrumentado, de 60 m de comprimento e 4 m de altura, com uma sobrecarga de solo compactado de 2 m sobre o retro-aterro de solo, executado com pneus dispostos em camadas horizontais de pneus preenchidos com solo compactado. Neste muro, os pneus são inteiros ou cortados, foram amarrados horizontalmente com arame ou corda, e preenchidos com solo compactado. O uso de pneus cortados e inteiros teve como objetivo verificar o efeito da remoção da banda lateral na deformabilidade do muro (Medeiros *et al.*, 1997). No total, foram utilizados cerca de 15 mil pneus para a execução do muro experimental. As FIGURAS 2.6, 2.7 e 2.8 ilustram fases distintas da construção do muro experimental.



FIGURA 2.6 – Estágio inicial da construção do muro:
posicionamento da 1ª camada de pneus.
(FONTE: MEDEIROS et al., 1997)



FIGURA 2.7 – Estágio intermediário e detalhe da
amarração com corda de polipropileno.
(FONTE: MEDEIROS et al., 1997)



FIGURA 2.8 – Final da construção do muro.
(FONTE: MEDEIROS et al., 1997)

Sob o ponto de vista da mobilização da resistência, o uso de pneus como elemento de reforço se mostra como uma técnica eficaz. A pesquisa indicou que o reuso de pneus em obras geotécnicas se constitui em uma alternativa técnica e economicamente viável. Adicionalmente, propicia uma demanda substancial de um resíduo sólido potencialmente nocivo ao meio ambiente (Medeiros et al., 2000).

2.3.2.2 Barragens

Os pneus inteiros podem ser utilizados na construção de barragens. A FIGURA 2.9 mostra uma barragem executada em bacia de retenção, de um laticínio, que está sendo estudada por pesquisadores do Departamento de Engenharia Civil, da Universidade Técnica do Texas.



FIGURA 2.9 – Parede de ECOFLEX™ em bacia de retenção, Hexham, Australia.
(FONTE: JAYAWICKRAMA, P.W. et. al., 2000)

2.3.2.3 Controle de Erosão

Os pneus inteiros podem ser utilizados na construção de barreiras de contenção para controle de erosão causada pelos ventos, enchentes e ressacas. Em regiões desérticas ou próximas à dunas de areia, barreiras de pneus também podem ser empregadas para evitar ou diminuir o carreamento de areia para a rodovia devido à ação do vento. Também há iniciativas para o emprego de pneus em proteção de taludes sujeitos a erosões e quebra-mares (SALINI, 2000). A utilização de pneus inteiros associados à plantas de raízes grandes auxiliam na contenção da erosão do solo (LUND, 1993).

A FIGURA 2.10 mostra a construção de barreira construída para reduzir a erosão de terra causada pelas enchentes repentinas, em Brawley Wash, perto de Tucson, Arizona.



FIGURA 2.10 – Construção de uma barreira com pneus inservíveis.
(FONTE: Goodyear, 1996)

2.3.2.4 Estabilização de ombreiras

Os pneus também tem sido empregados na estabilização de ombreiras (FIGURA 2.11) substituindo outras soluções, como gabiões, com grande vantagem econômica. No estado da Califórnia (EUA) foram elaboradas especificações para este emprego e também para uso na proteção de taludes em canais e rios (FIGURA 2.12) (NGUYEN et al., 1989).

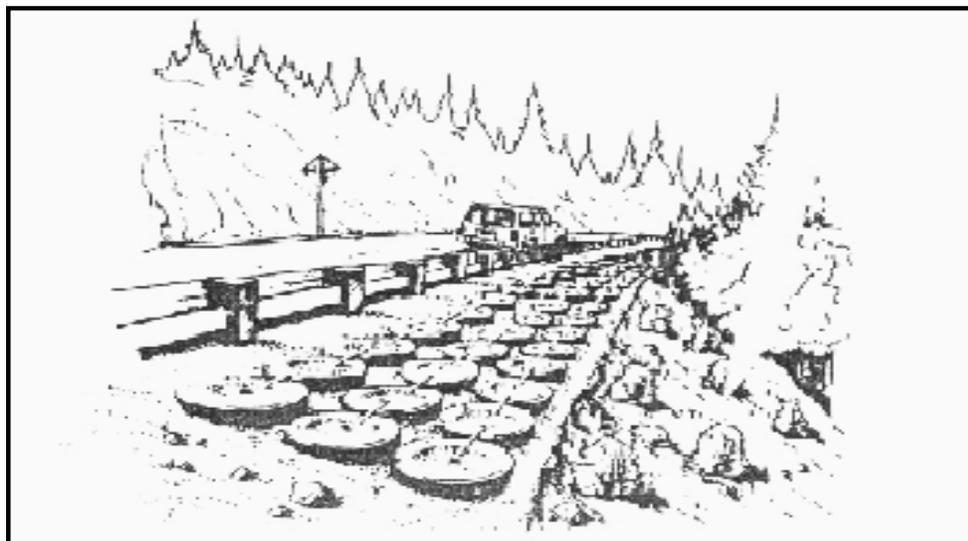


FIGURA 2.11 – Estabilização de ombreiras com pneus - vista do resultado final.
(FONTE: NGUYEN, 1989)

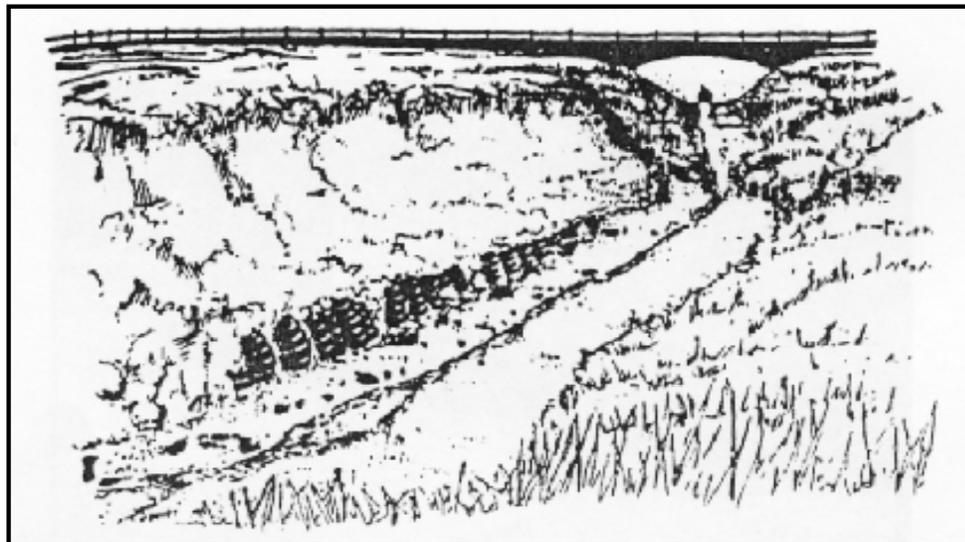


FIGURA 2.12 – Proteção de canais com pneus – aspecto do resultado final.
(FONTE: NGUYEN, 1989)

Para o emprego em proteção de talude o CALTRANS (California State Department of Transportation) recomenda diversos cuidados, que também são válidos para a estabilização de ombreiras. Os pneus devem ser dispostos e empilhados de tal forma que mantenham a sua forma geométrica original. Os *clips* metálicos utilizados para prender um pneu ao outro precisam ser confeccionados com barras de aço de diâmetro de 12,5 mm. O material escavado para a colocação da proteção pode ser empregado em um eventual reaterro atrás da barreira (proteção) de pneus, sendo recomendada, neste caso, a compactação através de compactadores manuais. O CALTRANS também recomenda que os pneus fiquem em locais não visíveis aos motoristas, ocultados pela vegetação e/ou pintados para ficarem mais bem dissimulados no ambiente.

2.3.2.5 Geogrelha

Em 1985, no Estado de Minnesota (EUA), foi proposto o emprego de pneus inteiros como uma espécie de geogrelha em regiões de solo mole, e várias seções experimentais foram executadas. Após dois anos de observações, os recalques verificados variaram entre 30 cm e 45 cm, situando-se entre 30 cm e 60 cm menores que os esperados em condições convencionais (sem reforço da fundação de aterro) (EPPS, 1994).

2.3.2.6 Aterros

Cortados em pedaços, tiras, triturados ou até mesmo inteiros, os pneus têm sido utilizados como material de enchimento em aterros desde meados da década de 1980. Segundo EPPS (1994), em 1991 nos Estados Unidos, 10 estados utilizavam os pneus em aterros, onde foram verificados alguns benefícios: evita a disposição dos pneus em aterros sanitários; substitui o agregado; é um material de peso leve; melhora as características de drenagem; sua degradação é lenta, mesmo se ficar abaixo do lençol freático e, é barato.

Neste tipo de aplicação as partículas de borracha de pneus são consideradas grandes, compreendidas entre 76 mm e 305 mm. Tamanhos considerados normais estão situados entre 12 mm e 76 mm. Em aterros que requerem controle de compactação é recomendado o uso de partículas com no máximo 50 mm (NGUYEN *et al.*, 1989).

O uso de pneus triturados como material de enchimento de peso leve ou misturados com solo podem ser usados como enchimento na parte posterior de estruturas de retenção próximas à estradas, tais como pilares para pontes e muros de retenção (FIGURA 2.13). Devido ao menor peso dessas misturas comparadas com o solo apenas, menores pressões são exercidas sobre a estrutura de retenção. Com isto, as solicitações estruturais são reduzidas, refletindo em menores custos. Algumas misturas de pneus triturados e solo podem suportar até alturas de 6 metros. Em tais casos, a parede de retenção tem função apenas de proteger a mistura da erosão e melhorar a estética (BENSON, 1995).

Essas misturas podem ser usadas como aterros de peso leve de alta resistência em solos moles, que sofre muito assentamento quando submetidos a altas pressões. Devido ao enchimento de pneus triturados ser mais leve que o solo, pressões menores são exercidas sobre o solo mole e menores assentamentos ocorrem. Também, devido a mistura de enchimento ser mais resistente que o solo, as inclinações do aterro podem ser mais íngremes. É possível usar métodos e equipamentos tradicionais, a única precaução é evitar o uso de equipamentos com pneus de borracha, pois os reforços metálicos contidos nos pneus triturados utilizados, podem perfurar os pneus (BENSON, 1995).

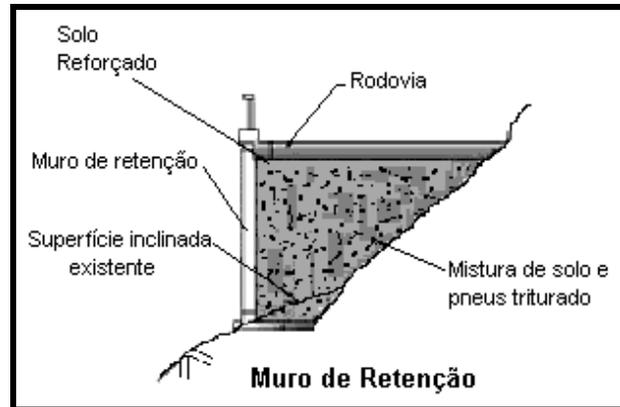


FIGURA 2.13 – Material de enchimento na parte posterior de estruturas de retenção.
(FONTE: Department of Civil & Environmental Engineering,
University of Wisconsin-Madison, 1995)

A borracha triturada usada como material de base de estradas, em áreas úmidas tem despertado considerável interesse nos Estados Unidos. Estradas que cruzam áreas úmidas podem dar problemas de estabilidade causados pelo peso do material de fundação empregado. Consideráveis graus de assentamento podem ocorrer devido a compactação e dilatação lateral da base de suporte. Um modo de evitar este efeito é pela substituição do solo de fundação por um material de peso leve. A FIGURA 2.14 mostra uma seção típica da construção de uma estrada sobre solo mole, no qual observa-se que a base é formada com lascas de madeira. A borracha granulada representa um possível substituto para este material de madeira que tem a desvantagem considerável de ser biodegradável. Neste caso, há algumas questões não resolvidas devido aos efeitos de lixiviação a longo prazo (BRESSI, 1993).

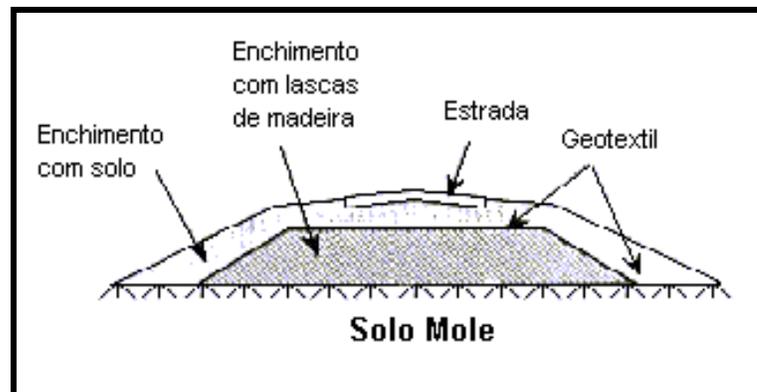


FIGURA 2.14 – Seção típica de estrada sobre solo mole.
(FONTE: BRESSI, 1993)

O pó de borracha, proveniente do processo de desvulcanização, como componente inorgânico é mais eficiente no solo, superando as propriedades da areia e da lama de serragem. É indicado para a recuperação de solos deficientes em zinco, com pouca permeabilidade.

Apesar das vantagens, há ainda algumas questões pendentes em relação ao emprego de pneus em aterros. A principal delas é relativa à causa, ou causas, de reações exotérmicas que provocaram três incêndios em aterros no ano de 1995 nos Estados Unidos. Também há carência de estudos avaliando o comportamento estrutural deste tipo de aterro, determinando proporções ótimas entre solo e o granular de borracha, tipos de solo mais adequados e tamanhos ideais dos granulares de borracha (HUMPHREY, 1996; SALINI, 2000).

2.3.3 Obras de drenagem

Existe iniciativas para o emprego de pneus em obras de drenagem, em substituição aos bueiros. Para formar um tubo, os pneus são presos uns aos outros para comporem módulos. Nos estados de Vermont e Georgia (EUA), esta prática tem sido adotada e apresentou um desempenho aceitável (MEMO, 1992). A FIGURA 2.15 apresenta um módulo composto por cerca de 15 pneus. Também pode-se observar a haste metálica utilizada para a amarração dos pneus.

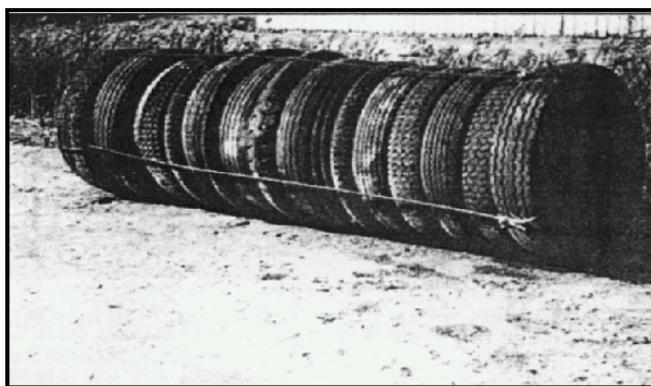


FIGURA 2.15 – Emprego de pneus em obras de drenagem.
(FONTE: NGUYEN, 1989)

2.3.4 Pneus triturados utilizados como material de drenagem, cobertura ou isolamento térmico

Em aterros sanitários, os pneus triturados podem ser usados como material de drenagem, meio de tratamento de material drenado, cobertura ou isolamento térmico. Estudos têm mostrado que pneus inservíveis podem ser mais permeáveis do que areia ou pedregulhos normalmente usados

em um sistema de coleta de material drenado. Além disso, pneus inservíveis podem adsorver compostos químicos orgânicos tóxicos, normalmente encontrados em material drenado, com isto, o material drenado é mais facilmente removido e pré-tratado (BENSON, 1995).

Em locais onde há água contaminada, uma parede pode ser construída para diminuir o fluxo da água contaminada (FIGURA 2.16). Geralmente a parede é de argila, mas, quando se adiciona pneus triturados à argila na construção da parede, o fluxo da água contaminada diminui drasticamente. Em alguns estudos a adição de pneus triturados à argila betonita na parede retardou a movimentação de alguns produtos químicos (BENSON, 1995).

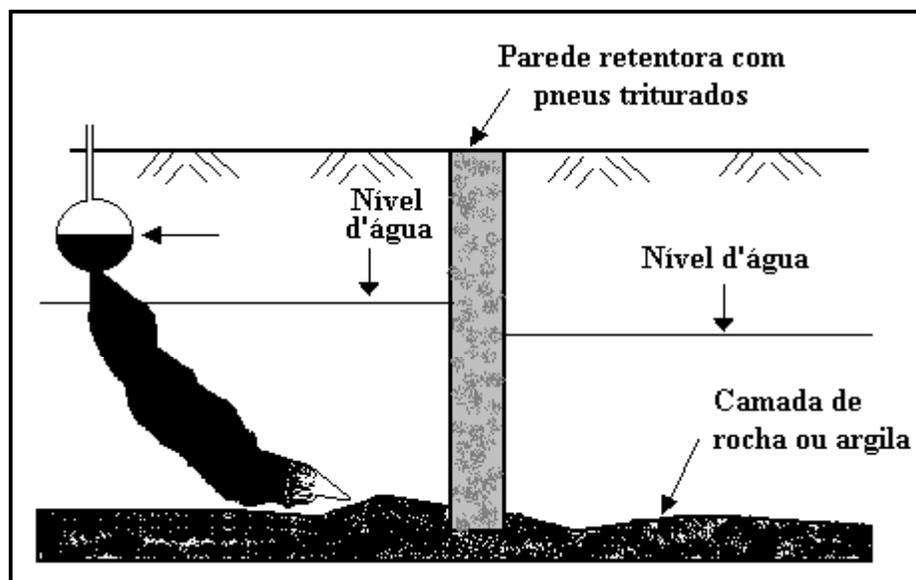


FIGURA 2.16 – Parede retentora com pneus triturados.
(FONTE: Department of Civil & Environmental Engineering,
University of Wisconsin-Madison, 1995)

O pneu triturado (Rubber RockTM) é utilizado como um agregado alternativo de peso leve que pode ser usado em sistemas sépticos e sempre que o agregado possa ser usado. Geralmente o uso do agregado de borracha fica mais barato que o uso do agregado convencional, pois o seu peso leve reduz o tempo e despesas com a instalação. Compreendido nas dimensões de 6,35 cm (2,5”) e 1,9 cm (3/4”) (ausente de finos). O produto resultante é um agregado grosseiro, não tóxico, não perigoso e com máxima capacidade de estocagem e drenagem de campo. A ausência de finos no agregado de borracha e a estabilidade a longo prazo permite uma drenagem de campo livre de problemas. A FIGURA 2.17 representa a instalação de um sistema séptico de drenagem .



FIGURA 2.17 – Sistema séptico de drenagem.
(FONTE: www.4entech.com/Rubber_Rock/rubber_rock.html)

2.3.5 Barreiras de inércia atenuadora de impactos

No estado de Connecticut (EUA), na junção das Rodovias (Rout) 2 e 7, em 1975, foram feitas barreiras de inércia atenuadora de impactos de veículos construídas com pneus inteiros e areia. Os custos de implantação se mostraram bastante abaixo daquele apresentado pelas soluções tradicionais. O estudo indicou que este tipo de barreira possui uma performance satisfatória em termos de desaceleração do veículo, custos de reposição e manutenção, mas os resultados não foram considerados conclusivos quanto à redução de outros danos decorrentes da colisão (LANE, 1975; BUTTON, 1977; SALINI, 2000).

A borracha granulada de pneu pode ser colocada nas trilhas de campos atléticos e pisos de parques infantis. A elasticidade do material alivia o impacto com o solo (FIGURAS 2.18 a 2.19) (AERP, 2001).



FIGURA 2.18 – Superfícies de campos atléticos.
(FONTE: AERP, 2001)



FIGURA 2.19 – Superfícies de parques infantis.
(FONTE: ENTECH, 2001)

2.3.6 Recifes artificiais

Uma solução empregada em países como os Estados Unidos, Japão, Austrália e Nova Zelândia é de interesse considerável, acima de tudo por causa das quantidades envolvidas. Pneus usados (de carros ou caminhões) são empilhados em números entre 15 e 25 unidades, comprimidos, aglomerados com uma mistura de cimento e então lançados sobre um leito de mar para formar recifes artificiais. Pesquisadores observaram que cada um deste tipo de unidade se torna um *habitat* marinho ótimo para aproximadamente trinta espécies de peixe como também para outras criaturas marinhas (hidrozoários, algas, mexilhões, caranguejos, camarões, lagostas, estrela-do-mar, anêmona-do-mar, água-viva, etc.) que colonizaram os recifes artificiais. Neste modo, milhões de pneus usados são empregados e se tornam muito mais efetivo (BRESSI, 1993).

2.3.7 Sistema de armazenagem de água para gramados

O sistema de armazenagem de água para gramados, utilizando pneus inservíveis cortados ao meio, distribuído em camada sob gramados de campos de golf, futebol, etc. (FIGURAS 2.20 e 2.21), podem reduzir os gastos com irrigação artificial e fertilização, de 10% a 70%. Esta técnica é uma solução para o problema com a disposição dos pneus inservíveis, combinado à viabilidade econômica e a responsabilidade ambiental. Este sistema utiliza 100% dos pneus inservíveis, utilizando máquinas simples de fácil manutenção.



FIGURA 2.20 – Execução de um gramado em Santa Rosa-Califórnia, Maio/1996.
(FONTE: www.sonic.net/tirefarms)

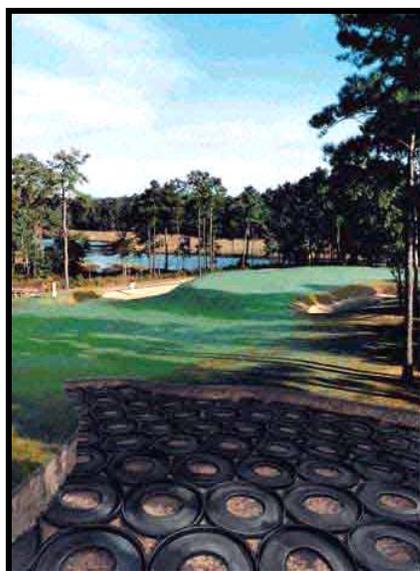


FIGURA 2.21 – Execução de um gramado num campo de golf.
(FONTE: www.sonic.net/tirefarms)

2.3.8 Utilização de borracha reciclada moída em matriz de cimento

A imobilização ou incorporação de resíduos com cimento em peças de concreto, material este que atua como barreira física e química à contaminação do meio ambiente pelos resíduos, vem sendo pesquisada e empregada principalmente na América do Norte e Europa (GALET, 1998).

TOUTANJI (1996), ELDIN (1993) e BIEL (1994) relatam experiências sobre a utilização de borracha de pneu reciclado, como agregado no concreto nos Estados Unidos. Os pneus são passados por um moinho onde a borracha é triturada e transformada em agregado com granulometria adequada.

Alguns municípios americanos, em Dakota do Sul, adotaram uma técnica simples e baixo custo, para confecção de casas pré-moldadas de 50 metros quadrados. Utilizam placas pré-moldadas confeccionadas com resíduos de borracha, provenientes do processo de recauchutagem de pneus misturados a argamassa, em substituição a areia, com o intuito de resolver o déficit habitacional. Essas placas são fixadas em pilares de concreto, também pré-moldados.

Segundo ZHU (2001), foi executado uma calçada do campus da ASU (Arizona State University), adicionando uma pequena quantidade de borracha de pneu moída (de aproximadamente 1 mm, na proporção de 8% do peso do cimento) ao concreto de cimento portland. Ao contrário às pesquisas anteriores, o estudo demonstrou que a adição de borracha moída ao concreto de fato produziram vários benefícios que compensariam pela perda da resistência a compressão, especialmente em projetos que não se destinam à cargas pesadas. Esses benefícios incluem reduções em expansões térmicas, assim como encolhimento durante a secagem e fragilidade. Apresentou-se mais resistentes aos danos causados pelo congelamento e descongelamento (climas muito frios). O pesquisador faz novos avanços para melhorar a resistência a compressão fazendo adição de uma pequena quantidade de gesso à mistura anterior.

No Brasil, segundo o Laboratório de Química do Estado Sólido, da UNICAMP (LQES, 2001), foi iniciada uma pesquisa com uso de pneus na substituição de agregados adicionados ao concreto, visando a obtenção de um material de construção mais flexível. O concreto flexível seria mais resistente ao impacto e, também, melhor isolante térmico e acústico que o concreto convencional. Tal desenvolvimento, tornaria o concreto extremamente interessante para aplicações em pisos e fundações, para instalação de máquinas-ferramentas, absorvedores de choque quando de terremotos, isolantes térmicos e acústicos.

A borracha de pneus descartados moída vem sendo pesquisada e utilizada em materiais de engenharia com sucesso e a preços competitivos, quando comparado com fibras poliméricas de polipropileno e fibras de aço para aumentar resistência à flexão em matriz de cimento (SEGRE, 1999).

A viabilidade do emprego de borracha de pneus em materiais de engenharia está quimicamente comprovada. A mistura de borracha de pneu moída tratada com hidróxido de sódio (NaOH) e pasta de cimento resulta num composto resistente à abrasão e à flexão, propriedades consideradas importantes do ponto de vista mecânico. A borracha de pneu é tratada para melhorar a aderência à matriz de cimento. As partículas de borracha de pneu moída utilizadas no

cimento são inferiores a 0,5mm, não trabalhando estas como agregados, motivo de insucessos de pesquisas anteriores (SEGRE, 1999).

O pó de borracha, proveniente de processo de desvulcanização, como componente inorgânico é mais eficiente no solo, superando as propriedades da areia, e da lama de serragem. É indicado para a recuperação de solos deficientes em zinco, com pouca permeabilidade, ou estruturas pobres, além de substituir a areia para confecção de blocos e painéis pré-moldados para a construção civil. Há que se ressaltar que essa alternativa não é onerosa.

Triturados, apresentam maiores vantagens para quadras esportivas e na pavimentação de vias públicas, inclusive no que se refere a estabilização do solo.

No Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná/ Cefet-PR, pesquisas estão sendo desenvolvidas na área de construção civil, utilizando resíduos como materiais alternativos (compósitos), visando a redução dos custos, melhorias no aspecto termo-acústico, durabilidade e agilidade de execução. No protótipo denominado “Unidade Conhecimento” (FIGURA 2.22), foram utilizados resíduos tais como: o isopor (EPS), garrafas plásticas inteiras recicladas (PET), para confecção de blocos em concreto leve (ISOPET), e raspas de pneus provenientes do processo de recauchutagem, como parte do agregado miúdo, na execução do contra-piso. Nesta unidade, estão sendo analisados aspectos importantes da região, como: a falta de moradia, a grande quantidade de resíduos sociais gerados e o problema com a escassez da areia na região de Curitiba/PR. Esta tecnologia contempla o reaproveitamento do isopor, pneus e garrafas plásticas, sem gasto de energia (ANBIO, 2001).



FIGURA 2.22 – Blocos de ISOPET intertravados e Protótipo “Unidade Conhecimento”.
(FONTE: ANBIO, 2001))

Um produto denominado por Rubber Soil™ (FIGURA 2.23), patenteado por uma empresa de Hong Kong, desenvolvido em bloco pré-moldado de peso leve, é confeccionado de borracha de pneu triturado e cimento, com alta capacidade de drenagem. Pode ser utilizado em diversas aplicações tais como: em áreas de aterro em estradas, acessos a pontes, abaixo e acima do nível d'água, diques, paredes de retenção, etc.

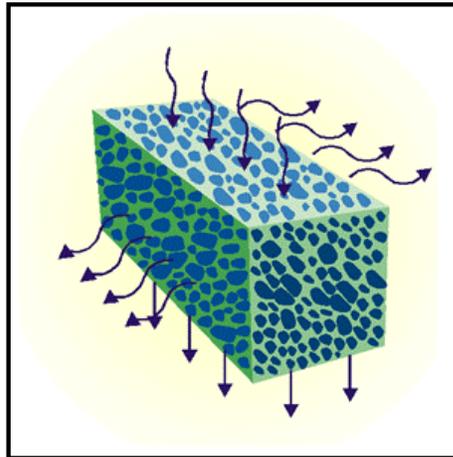


FIGURA 2.23 – Bloco de peso leve - Rubber Soil™.
(FONTE:Earth-link Technology Enterprises Ltd., 2001
- www.earth-link.com.hk/tire2.htm)

Os trabalhos relatam experiências usando diferentes quantidades e tamanhos de agregado de borracha de pneu. A substituição do agregado graúdo normal por borracha de pneu diminui pela metade os valores finais da resistência à compressão e à flexão.

2.3.9 Construção de casas utilizando pneus inteiros e solo

Durante 30 anos, muitos projetos de casas ecológicas ou casas auto sustentáveis foram construída com o sistema denominado de “Earthship”. Mais de mil casas foram desenvolvidas em todo o mundo, com o intuito de reaproveitar resíduos que estariam sendo jogados na natureza. Existe um estudo extenso feito por pesquisadores da Universidade de Wisconsin-Madison/Novo México sobre este tipo de edificação. É uma técnica de construção natural, utilizando pneus e solos prensados na confecção das paredes que são assentados diretamente no solo (sem vegetação). Este tipo de casa utiliza a energia solar e chuva, para fornecer calor, energia e água. As paredes são desenvolvidas em módulos em “U”, com habilidade de reter temperaturas quando as temperaturas externas variam. Quando combinado com outros

componentes passivos do projeto, como sistema de ventilação, o resultado é uma casa com ambiente agradável e confortável.

Este tipo de construção, com pneus reciclados, apresenta as seguintes vantagens: evita a contaminação do ambiente, não afeta a saúde pública, apresenta baixa liberação de carbono, alta massa térmica, estruturalmente forte e flexível e baixo custo.

A FIGURA 2.24 mostra uma casa construída no Japão e a FIGURA 2.25 mostra a execução de uma parede de um Earthship, sendo preenchida com barro e latas de alumínio. Este método de construção logo será demonstrado através de oficinas de construção, com exemplos reais, pelo Instituto de Permacultura Cerrado-Pantanal no Brasil.



FIGURA 2.24 – Earthship construído no Japão.
(FONTE: www.earthship.org)



FIGURA 2.25 – Parede de pneus preenchida com barro e latas de alumínio.
(FONTE: www.earthship.org)

No Brasil, muitas pesquisas estão sendo desenvolvidas por empresas e universidades para o reaproveitamento de pneus inservíveis na construção civil.

Capítulo 3

3. LEGISLAÇÃO AMBIENTAL

3.1 Aspectos da legislação ambiental quanto a problemática dos pneus inservíveis

Após os grandes incêndios em estoques de pneus inservíveis (FIGURA 3.1), que acarretaram a contaminação do ar, da água e do solo, na década de 80, nos Estados Unidos, surgiu o interesse no desenvolvimento de pesquisas visando a reutilização de borracha de pneus em obras de engenharia. Quando ocorrem estes incêndios o tempo que leva para apagá-los pode prolongar-se por várias semanas ou meses, como no incêndio de Rhinehart em Winchester, Virginia-EUA, queimou por aproximadamente nove meses, liberando grandes quantidades de compostos altamente perigosos (LIU, et al., 1998). Tal fato nos faz ponderar quanto à indicação de estocagem de pneus como destinação final, ambientalmente adequada. Após a queima dos pneus (FIGURA 3.1), os gastos com a limpeza do local são grandes, necessitando de equipamentos pesados para fazer a remoção dos resíduos gerados.



FIGURA 3.1 – Incêndio em pilhas de pneus em Stanislaw Co. California (set/1999).
(FONTE: RESCHNER, 2002)



FIGURA 3.2 – Limpeza da área após incêndio nos estoques de pneus.

FONTE: The Herald (16/07/1998)

(www.heraldnet.com/stories/98/7/16/BIOSLDS1.htm)

Os riscos ambientais vinculados à presença de pneus inservíveis motivaram a criação de legislação específica, em nível federal e estadual, em vários países. Atualmente, 48 estados americanos, possuem legislações/regulamentações específicas para pneus. As leis estaduais regulamentam a aquisição, armazenagem e processamento dos pneus, impõe restrições para armazenagem em aterros sanitários e oferecem incentivos para o desenvolvimento de novas alternativas de uso, ajudando a fortalecer os mercados para pneus descartados (RMA, 2001; RESCHNER, 2002).

No início de 1991, a maioria dos Estados proibiu a disposição final de pneus inteiros nos aterros, permitindo o descarte desses inservíveis triturados, mediante taxas elevadas, que tornaram essa alternativa economicamente proibitiva (HEITZMAN, 1992).

Nos estados onde é permitido estocar pneus sem enterrá-los, existem normas que regulamentam o tamanho, a construção de obras de prevenção contra incêndios, coberturas e tapumes para que haja o controle adequado desses depósitos (DEP, 1998).

Em países como Estados Unidos, Japão, Canadá e alguns países da Europa, são cobradas taxas do consumidor. Nos Estados Unidos, a taxa cobrada é de aproximadamente US\$0,50, sempre que a pessoa troca um pneu, para possibilitar a reciclagem, incineração ou aterro (IPT, 1995). A legislação americana deu aos Estados o direito de cobrarem multas elevadas devido aos riscos ambientais, podendo chegar a US\$10.000, por violação, e esse infrator vai preso, no caso da Califórnia.

Muitos países têm desenvolvido legislação para direcionar seus departamentos de estradas de rodagem a investigar a possibilidade de utilização de materiais recicláveis em obras de pavimentação. O governo americano em especial, tem incentivado a incorporação de borracha de pneus nas misturas asfálticas, como forma de solucionar o problema da eliminação deste resíduo (ODA, 2000).

A seção 1038 da **Lei 102-240**, sobre a Eficiência do Transporte Intermodal de Superfície de 1991 (*Intermodal Surface Transportation Efficiency Act – ISTEA, 1991*), que trata do “uso do material reciclado em pavimentação visando a proteção ambiental”, 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. Esta lei estabelece a utilização de um percentual mínimo de borracha reciclada nas misturas asfálticas (em relação ao total produzido), tendo aumentado de 5% em 1994 até 20% em 1997, e assim se mantendo nos anos seguintes (EPPS, 1994). A lei garante incentivos fiscais aos Estados que utilizam borracha de pneus nas misturas asfálticas e prevê punições aos Estados que não a obedecem.

A **Gestão de Resíduos Sólidos**, dos Estados Unidos, no que se refere aos pneus, adota cinco princípios a saber (LUND, 1993):

- Princípio do “berço ao túmulo”: o setor produtivo é responsável pelo seu produto, até o término do ciclo de vida desse produto;
- Princípio da responsabilidade: o setor produtivo é responsável pelo custo da coleta e disposição final dos resíduos sólidos considerados recicláveis;
- Princípio do direito de saber do cidadão: todo o cidadão tem direito de saber quais são os resíduos gerados no processo produtivo, assim como: onde, quem e como é realizado o tratamento destes resíduos;
- Princípio da co-responsabilidade: toda a empresa de tratamento e disposição final de resíduos sólidos será co-responsável pelos resíduos ali tratados, ou disposto. Caso receba um determinado resíduo quer seja doméstico, ou industrial, deverá emitir um certificado de aceitação desse resíduo. A finalidade desse certificado é controlar se o setor produtivo industrial está utilizando alguma matéria-prima em sua linha de produção que seja proibida nos EUA;

- Princípio dos “três erres”: tem por finalidade instrumentar a mudança de padrão de produção linear insustentável vivenciada pela indústria nacional, em um padrão circular sustentável. Para tal, deve Reduzir, Reusar e Reciclar os resíduos sólidos quer domésticos, industriais, ou hospitalares.

Uma proposta a nível da Comissão Europeia em termos de conclusões do Grupo de Trabalho sobre o fluxo de resíduos, com valores quantificados, quer em termos de prevenção, quer em termos de valorização e eliminação dos pneus usados, visou a partir do ano de 2000 o seguinte: implantação da coleta seletiva de modo a atingir 100% da produção; implantação de estratégias de prevenção da produção destes resíduos, pressupondo a necessidade de reduzir a produção em 5%; a recauchutagem deve atingir 25% dos pneus usados produzidos; a valorização dos pneus usados deverá atingir 65% dos pneus usados e a proibição da deposição dos pneus usados em aterros (www.quercus.pt/cir/rsurb/pneus.htm-Pneus Usados). Em 2003, será proibido a deposição de pneus inteiros em aterros e, a partir de 2006, pneus de qualquer forma serão proibidos nos estados membros da União Europeia (RESCHNER, 2002).

Nas diretrizes gerais sobre resíduos sólidos da França, **decreto n.º 92-377/93**, bem como da União Europeia (91/157/CEE), os pneus são considerados passivo ambiental dos fabricantes obedecendo o "princípio do berço ao túmulo" (NOTA TÉCNICA-Análise da resolução 258/99-CONAMA; ABNT, 1987).

No Brasil, as legislações a nível Federal, Estadual e Municipal, identificam os aspectos da geração, manuseio e reaproveitamento do resíduo pelos órgãos FNMA, IBAMA e CONAMA.

As normas da série **ISO 9.000** deram origem as da série **ISO 14.000**, que dizem respeito às normas ambientais. Vale lembrar ainda que deverá ser consultada a legislação ambiental vigente em seu estado ou município e, que as federais não omitem as estaduais e municipais, portanto, as três legislações devem ser consultadas. A **NBR 10.004**, rege a disposição dos resíduos (www.recycling.hpg.ig.com.br).

Conforme a **Resolução CONAMA n.º 235**, de 7 de janeiro de 1998, pneus usados são classificados quanto à origem, como **RESÍDUOS ESPECIAIS** e quanto à natureza, como de **CLASSE III (inertes)**.

A **Constituição Federal Brasileira**, estabelece de forma clara, os direitos do Estado e dos Cidadãos quanto à saúde e ao meio ambiente. No seu artigo 23, inciso VI, encontra-se estabelecido como competência comum da União, Estados e Municípios a proteção ao meio ambiente e o combate à poluição em qualquer uma de suas formas.

A **Política Nacional de Resíduos Sólidos**, na Subseção X - Dos Pneumáticos, estabelece as responsabilidades dos fabricantes e importadores de pneus, atribuindo-lhes o gerenciamento dos respectivos resíduos sólidos gerados, que deverão estar em consonância com o Plano de Gerenciamento de Resíduos Especiais, aprovado pelo SISNAMA. Fica vedado o descarte de pneumáticos inservíveis em aterros sanitários, no mar, em terrenos baldios, margens de vias públicas, cursos d'água e nas praias, bem como a queima desses pneus, exceto para a obtenção de energia, efetuada por métodos insuscetíveis de causar danos à saúde humana, e ambiental. No tocante a comercialização dos pneus, só poderá ocorrer se acompanhada de instruções relacionadas à forma de devolução ao fabricante pós uso, ou após serem considerados impróprios à utilização. Prevê ainda, a criação de um Fundo Federal a ser aplicado em programas e planos relacionados ao gerenciamento de resíduos sólidos e de recuperação de áreas degradadas.

O Brasil é um dos primeiros países do mundo a ter uma lei que obriga os fabricantes e importadoras de pneus a compensar a produção e a importação dos mesmos com a destruição de grande quantidade de pneus inservíveis ou de carcaças abandonadas, um dos maiores passivos ambientais.

A **Resolução nº 258/99** (ANEXO B), do **CONAMA** - Conselho Nacional do Meio Ambiente, aprovada em 26 de agosto de 1999 (DOU, 02.12.1999), trata da destinação final, de forma ambientalmente adequada e segura, aos pneumáticos inservíveis, dispondo sobre a responsabilidade, tempo e quantidade para a coleta e reciclagem de pneumáticos. A partir de 2002, para cada quatro pneus novos fabricados no Brasil ou importados, inclusive aqueles que acompanham os veículos importados, as empresas fabricantes e as importadoras deverão dar destinação final adequada e comprovada a um pneu inservível. A partir de 2003, para cada dois pneus novos fabricados no Brasil ou importados, inclusive aqueles que acompanham os veículos importados, um terá que ter destinação final adequada e comprovada. A partir de 2004 para cada pneu novo fabricado no País ou novo importado, inclusive aqueles que acompanham os veículos importados, deverão dar destinação final a um pneu inservível e para cada 4 pneus reformados importados, de qualquer tipo, as empresas importadoras deverão dar destinação final a 5 pneus

inservíveis. A esta altura, pretende-se que toda a produção destinada ao mercado interno (65% da produção total), esteja sendo reciclada. A partir de 2005, para cada quatro pneus produzidos ou importados, as empresas importadoras deverão dar destinação final a cinco pneus inservíveis e para cada 3 pneus reformados importados, de qualquer tipo, as empresas importadoras deverão dar destinação final a 4 pneus inservíveis. No quinto ano de vigência dessa resolução, o CONAMA, após avaliação a ser procedida pelo IBAMA, reavaliará as normas e procedimentos estabelecidos nessa Resolução (CONAMA, 1999).

O teor dessa resolução é muito complexa, por se tratar de material de difícil e dispendiosa reciclagem. Não existe em outros países, paralelo da Resolução n.º 258/99, visto que eles ainda buscam soluções voluntárias. A forma brasileira de solução compulsória parece conduzir à melhores resultados e tende tornar-se modelo para o resto do mundo (TOMMASINI, 2001).

Esta resolução não se aplica aos pneumáticos exportados ou aos que equipam veículos exportados pelo País. Segundo a **Instrução Normativa do IBAMA n.º 09**, de 15/05/2002, as empresas que exportam pneumáticos a partir de 1.º de janeiro de 2002, na mesma quantidade dos importados estão isentas de comprovar ao IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, a destinação ambiental adequada do produto usado no exterior. A isenção não se aplica às operações de *draw back* nem às licenças temporárias de importação, segundo a **Instrução Normativa do IBAMA n.º 21**, publicada no DOU, em 25/09/2002.

Os fabricantes nacionais de pneus terão que comprovar anualmente, junto ao IBAMA, a destinação final dada aos pneus gastos, correspondentes às quantidades fabricadas. De acordo com a resolução, o não cumprimento das determinações implicará em sanções estabelecidas na **Lei 9.605/98** (Lei dos Crimes Ambientais).

O Brasil proíbe a importação de bens usados desde 1991, conforme estabelecido pelo Departamento de Operações de Comércio Exterior, através da **Portaria Decex n.º 08/1991**, inclusive de pneus, submetidos a crescentes restrições nos últimos anos por pressão das autoridades e organizações ambientalistas. Existem várias normas vetando a importação, como a do Conselho Nacional do Meio Ambiente (**Resolução CONAMA n.º 23/1996**) que proíbe a importação de pneus usados. Há também uma portaria do Ministério da Fazenda (**Portaria Interministerial n.º 03/1995**), que não autoriza a importação de bens usados, e outra da Secretaria de Comércio Exterior (**Secex n.º 09/1991**) proibindo a importação de pneus usados e recauchutados.

A importação como matéria-prima para a remoldagem foi aprovada pelo comunicado do **Decex n.º 02/1997** e depois a **Portaria Decex n.º 08/2000**, voltou a proibir a importação de pneus usados para qualquer fim.

Desde o dia 1º/01/2002, as empresas importadoras têm que comprovar junto ao IBAMA antes dos embarques no exterior, a destinação final adequada dos pneus que não servem, correspondentes às quantidades que serão importadas. Esse será o procedimento para fins de liberação de importação junto ao Departamento de Operações de Comércio Exterior (Decex).

A Secretaria de Comércio Exterior, através da **Portaria Secex n.º 02**, de 08/03/2002, permite a importação de pneus remoldados dos países do Mercosul, favorecendo empresas estrangeiras em detrimento das nacionais.

Para a Organização Mundial de Comércio (OMC) e para o Mercosul – Mercado Comum do Sul (através do laudo arbitral de janeiro/2002), pneu recauchutado é considerado novo, mas para a legislação brasileira pneus reformados são definidos como bens usados e sua importação é considerada importação de lixo ambiental alheio, que é proibido em termos de política pública ambiental (STJ, 2001) e portanto proibidos em setembro de 2000. Apesar da proibição da importação dos pneus usados e recauchutados, elas continuam sendo realizadas, amparadas por concessões de liminares e mandados de segurança.

A queima de pneus para aquecer caldeiras é regulamentada por lei. Ela determina que a fumaça emanada se enquadre no padrão I da escala de Reingelmann para a totalidade de fumaças. A queima à céu aberto, que gera fumaça negra de forte odor (dióxido de enxofre) é proibida em vários países, inclusive no Brasil (CEMPRE, 2000).

A atividade de co-processamento de resíduos industriais é regulamentada no País através da **Resolução CONAMA n.º 264**, de agosto de 1999. Pela resolução, ficou estabelecido que, nas fábricas que realizam o co-processamento, a emissão de material particulado não pode ultrapassar 70 mg para cada m³. Na Europa, o limite é de 40 mg por m³. A técnica de co-processamento só fica restrita em casos de resíduos hospitalares e domésticos, materiais corrosivos, pesticidas e explosivos. Além disso, não pode haver alteração na qualidade do cimento e provocar danos à saúde ocupacional.

Ainda não existe lei obrigando os municípios a utilizar uma porcentagem mínima de pneus inservíveis. No Estado de São Paulo, porém, no anteprojeto da Política de Resíduos Sólidos, foi proposta uma lei baseada na legislação Alemã, a qual se determina que cada gerador seja responsável pelo destino final de seu produto. Essa proposta tem a finalidade de forçar a indústria a desenvolver produtos com mais componentes recicláveis, menos poluentes, biodegradáveis e, também, desenvolver pesquisas sobre formas de utilização alternativas.

O **Projeto de Lei n.º 212/98**, da Assembléia Legislativa do Estado de São Paulo, dispõe sobre o armazenamento e destinação de carcaças de pneus e câmaras de ar no Estado de São Paulo, decretando que fica proibido o descarte inadequado, em locais de natureza pública ou privada. Caberá à empresa sediada no Estado de São Paulo, orientada pelo órgão ambiental competente, criar e implementar mecanismos de recolhimento e destinação de seu produto. As empresas desse setor só poderão instalar novas unidades industriais no território de São Paulo, mediante a apresentação ao órgão ambiental responsável do estado, de plano de destinação e gerência ambiental de seu produto (RESOL, 2002).

O surto de dengue que vem preocupando as autoridades sanitárias e a população levou a Secretaria do Meio Ambiente em conjunto com a Secretaria Estadual da Saúde do Estado de São Paulo, por meio da **Resolução SMA/SS 1**, publicada no Diário Oficial de 16 de março de 2002, autorizar a disposição de pneus usados em aterros sanitários, desde que devidamente retalhados ou triturados e previamente misturados com resíduos domiciliares, de forma a garantir a estabilidade dos aterros. A exigência de retalhamento ou trituração fixada na resolução estadual foi uma forma encontrada para reduzir seu volume e a possibilidade dos pneus voltarem à superfície, devido à dificuldade de compactação. As restrições quanto a sua disposição à céu aberto são referentes aos problemas de saúde e higiene e aos riscos de incêndio e poluição (CETESB, 2002).

Em algumas cidades de São Paulo, o poder público municipal proíbe a entrada dos pneus nos aterros, eximindo-se da responsabilidade de coletar e armazenar adequadamente esses resíduos e contribuindo para a disposição ilegal em terrenos baldios, rios, etc. Evidenciando assim, o descaso das autoridades em relação à saúde pública. Algumas cidades, como de Piracicaba e Sorocaba, no estado de São Paulo, possuem controle efetivo do volume de pneus coletados e estocados, pois todos os pneus coletados são depositados em locais separados no próprio aterro. Particularmente, as cidades de Piracicaba e Limeira, no estado de São Paulo, estão empenhadas

em encontrar alternativas de utilização para os pneus estocados: controle de erosão em Piracicaba e drenagem de líquidos percolados de aterros sanitários em Limeira (BERTOLLO et al., 2000).

O **Ministério Público do Estado do Paraná**, MPPR (2002), sancionou a **Lei n.º 12.493**, em 22 de janeiro de 1999, a qual estabelece princípios, procedimentos, normas e critérios referentes à geração, acondicionamento, armazenamento, coleta, transporte, tratamento e destinação final dos resíduos sólidos no Estado do Paraná, visando o controle da poluição, da contaminação, e a minimização de seus impactos ambientais e adota outras providências. No artigo 11, as empresas fabricantes e/ou importadoras serão responsáveis pela coleta e reciclagem dos produtos inservíveis, obedecidas as condições e critérios estabelecidos pelo Instituto Ambiental do Paraná – IAP; no artigo 14, ficam proibidas, em todo o território do Estado do Paraná a seguintes formas de destinação de resíduos sólidos, inclusive pneus usados: queima à céu aberto; lançamento em corpos d’água, manguesais, terrenos baldios, redes públicas, poços e cacimbas, mesmo que abandonados; lançamento em redes de drenagem de águas pluviais, de esgotos, de eletricidade, e de telefone; lançamento “in natura” à céu aberto, tanto em áreas urbanas como rurais.

Nos parágrafos desse artigo fica estabelecido que: o solo e o subsolo somente poderão ser utilizados para armazenamento, acumulação ou disposição final de resíduos sólidos de qualquer natureza, desde que sua disposição seja feita de forma tecnicamente adequada, estabelecida em projetos específicos, obedecida as condições e critérios estabelecidos pelo Instituto Ambiental do Paraná – IAP; a queima de resíduos à céu aberto poderá ser autorizada pelo Instituto Ambiental do Paraná, somente em caso de emergência sanitária, reconhecida pela Secretaria de Estado de Saúde ou pela Secretaria de Estado da Agricultura e Abastecimento; e o lançamento de resíduos em poços desativados poderá ser autorizado mediante as condições e critérios estabelecidos pelo Instituto Ambiental do Paraná.

Recentemente, os veículos automotivos, seus componentes e os materiais de que são feitos têm sido tema de vários Projetos de Lei brasileira relacionados com disposição final e reciclagem. Esses Projetos de Lei são listados na QUADRO 3.1.

QUADRO 3.1 – Projetos de Lei Brasileira sobre disposição final e reciclagem de componentes automotivos.

| Projeto de Lei | Título |
|---|--|
| Projeto de Lei Nº 1.259, de 1995 (do Sr. Pedro Novaes) | Dispõe sobre a reciclagem de pneus inservíveis e dá outras providências. |
| Projeto de Lei Nº 2.949-A, de 1997 (do Sr. Eduardo Jorge) | Dispõe sobre a obrigatoriedade de reciclagem dos materiais plásticos, metálicos e borracha utilizados na fabricação de automóveis e outros veículos automotores. |
| Projeto de Lei Nº 1.016, de 1999 (da Comissão de Economia, Indústria e Comércio) | Institui o Programa Nacional de Renovação e Reciclagem de Veículos Automotores e dá outras providências. |
| Projeto de Lei Nº 1.610, de 1999 (do Sr. Pompeo de Mattos) | Dispõe sobre o reaproveitamento de pneus nacionais usados pelo Poder Público Federal, por meio do sistema de recapagem de pneus. |
| Projeto de Lei Nº 1.677, de 1999 (do Sr. Ronaldo Vasconcelos) | Dispõe sobre a destinação de pneus usados e dá outras providências. |

FONTE: ALMEIDA, 2002

4. METODOLOGIA

O estudo do aproveitamento de resíduos e subprodutos industriais ou urbanos na construção civil constitui tema de pesquisa relativamente recente.

A pesquisa e desenvolvimento de um novo material ou produto a partir de um resíduo, que venha a se estabelecer como uma alternativa de mercado, é mais complexa que a envolvendo matérias-primas naturais. Ela envolve uma gama mais ampla de conhecimentos multidisciplinares de áreas diferentes (JOHN, 2000).

Com base em relatório da OECD (*Organization for Economic Cooperation and Development*), CINCOTTO (1988) (Apud JOHN, 2000, pág. 40) propõe os seguintes critérios para avaliação do resíduo para uso na construção civil:

- a quantidade disponível em um local deve ser suficientemente grande para justificar o desenvolvimento de sistemas de manuseio, processamento e transporte;
- as distâncias de transporte envolvidas devem ser competitivas com os materiais convencionais;
- o material não deve ser potencialmente nocivo durante a construção ou posterior à sua incorporação na estrutura.

O resíduo em estudo, obedece os critérios acima citados pelos autores, pois se apresenta em grande quantidade. A distância de transporte dependerá da localização dos pontos de beneficiamento (próximo aos grandes centros), já que os mesmos serão recolhidos em todos os pontos de venda e, segundo trabalhos publicados sobre os impactos causados pelos resíduos de pneus inservíveis, no ambiente, varia com as condições da água e solo, e quando queimados ao ar livre.

A metodologia usada nesta pesquisa, baseou-se na obtenção de informações de duas formas básicas. A primeira, sobre a geração de pneus inservíveis e as unidades existentes para

beneficiamento e tratamento no cenário nacional, através de contatos pessoais, com gravações de entrevistas, questionários, conversas telefônicas, *e-mails* e troca de correspondências com as associações dos fabricantes e beneficiadores de pneus; e a segunda, sobre as alternativas tecnológicas para o reaproveitamento dos pneus inservíveis, especialmente no campo da engenharia e, as legislações ambientais vigente, através de pesquisa em fontes bibliográficas, publicações de instituições governamentais e não governamentais, universidades e Internet.

4.1 Procedimentos

Os procedimentos realizados no desenvolvimento deste estudo encontram-se apresentados a seguir:

- a) Identificação das fontes de informações nacionais e internacionais, relacionados com o tema, alternativas tecnológicas para o reaproveitamento e as legislações ambientais;
- b) Levantamento da legislação vigente no Brasil, a respeito de pneus inservíveis, para identificar os aspectos de responsabilidades e disposição final, junto aos órgãos FNMA, IBAMA e CONAMA;
- c) Envio de questionário (ANEXO A1), para os fabricantes e empresas importadoras de pneumáticos, no Brasil, e após encaminhado à ANIP – Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos, representante dessas empresas, juntamente com uma carta de apresentação do pesquisador afim de obter informações sobre as empresas instaladas no Brasil e sua capacidade de produção, exportação e importação nos últimos cinco anos, como também, sobre o posicionamento da ANIP, frente a resolução n.º 258/99, do CONAMA e as metas a serem atingidas para a coleta e destruição dos pneus inservíveis.
- d) Envio de questionário (ANEXO A2), para as indústrias de cimento nacionais e após encaminhado à ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland, a fim de se levantar as indústrias que estão co-processando pneus, capacidade de instalação e previsão, forma de utilização, vantagens e desvantagens de uso.
- e) Após alguns contatos telefônicos e e-mails, agendou-se uma entrevista com a SINDIBOR – Sindicato da Indústria de Artefatos de Borracha de São Paulo, a fim de identificar as empresas, capacidade de produção e capacidade de utilização de borracha reciclada. Através

de informações e da indicação da SINDIBOR, conseguiu-se contatos com empresas que utilizam uma quantidade significativa de pneus usados no país;

- f) Após a indicação de alguns fabricantes de pneumáticos e da SINDIBOR, conseguiu-se uma entrevista com a ANIP, em São Paulo/SP, onde todas as informações complementares para este trabalho foram fornecidas, juntamente com alguns sites específicos, trabalhos publicados, indicações para posterior contato com empresas e pesquisadores relacionados com o reaproveitamento e reciclagem de pneus inservíveis, aliadas ou não, ao projeto da ANIP, para a coleta e destruição dos pneus inservíveis;
- g) Envio de questionário (ANEXO A3) às principais empresas beneficiadoras nacionais, através de comunicação via telefone/*e-mail*, a fim de identificar as principais formas de valorização dos pneus inservíveis, processo de tratamento utilizado, capacidade de processamento, produto final, mercado para o material reciclado, impacto ambiental durante o processo de tratamento, resíduos gerados no final do processo, etc.;
- h) Levantamento bibliográfico de estudos e pesquisas nacionais e internacionais, relacionados a geração, impactos causados e alternativas tecnológicas para o aproveitamento dos pneus inservíveis em especial na área da construção civil, através de universidades, prefeituras, publicações científicas, dissertações, teses, artigos, *internet*, etc.;
- i) Levantamento quantitativo e análise da geração dos pneus inservíveis no país;
- j) Classificação física, química e ambiental dos pneus inservíveis;
- k) Análise e separação de todo o material, por assunto, que serviram como base para a elaboração do texto deste trabalho.
- l) Análise do mercado nacional de pneumáticos junto à ANIP (Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos), BNDES (Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social) e MDIC/SECEX (Ministério do Desenvolvimento da Indústria e Comércio Exterior/Secretaria de Comércio Exterior);
- m) Avaliação das aplicações reais existentes do reaproveitamento dos pneus pela construção civil, através do levantamento do volume de borracha reciclada disponível e a capacidade instalada existente no país para o processamento da borracha;

- n) Análise da capacidade de absorção dos pneus descartados pela indústria da construção em relação aos outros processos de reaproveitamento existentes, através do levantamento dos dados referentes as formas de aproveitamento para a construção no Brasil, verificando qual a parcela de pneus inservíveis que poderia ser direcionado para este setor frente as demais formas de aproveitamento;
- o) Levantamento dos entraves existentes para a absorção dos pneus de descartes pela indústria da construção;
- p) Apresentação e análise dos resultados, tendo em vista os fatores que condicionam o uso e aproveitamento dos pneus pela indústria da construção, identificação da capacidade instalada para absorção dos pneus frente as tecnologias existentes, avaliação da disponibilidade;
- q) Definição do papel da construção civil na redução do volume gerado de pneus de descarte;
- r) Considerações finais e recomendações.

Capítulo 5

5. LEVANTAMENTO QUANTITATIVO E ANÁLISE DA GERAÇÃO E DISPOSIÇÃO FINAL DOS PNEUS INSERVÍVEIS

5.1 Geração e disposição final para os pneus inservíveis no mundo

Um estudo feito pela Universidade de Vrije, na Holanda, revelou que todos os dias são fabricados cerca de 2 milhões de novos pneus no mundo, significando uma produção anual de 730 milhões de pneus (janeiro/1999) (WARMER, 1999). Já o descarte de pneus velhos chega a atingir 800 milhões de unidades anualmente (FIEP, 2002).

A geração de pneus inservíveis está diretamente relacionada à frota de veículos de cada país. Como regra prática, a geração de pneus inservíveis, em países industrializados, é de cerca de um pneu por habitante por ano (pneu de automóvel = 9 Kg) (AMIRKHANDIAN, 2001; RESCHNER, 2002). Veja nas TABELAS 5.1 e 5.2 a geração e taxa estimada de crescimento para o descarte de pneus nos principais países.

TABELA 5.1 – Pneus inservíveis gerados nos principais países em 1999.

| Países | Pneus inservíveis (1999) (em milhões de unidades) |
|---------------|--|
| EUA | 270 |
| Europa | 120 |
| Japão | 102 |
| China e H.K. | 100 |
| Demais Países | 208 |
| Total | 800 |

FONTE: Scrap Tires & Recycling - 2001

TABELA 5.2 – Taxa de crescimento da geração de pneus inservíveis.

| Países | Taxa de crescimento para descarte de pneus inservíveis (%) | | | | | |
|---------------|--|------|------|------|------|------|
| | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 |
| EUA | 5% | 5% | 5% | 5% | 5% | 5% |
| Europa | 5% | 5% | 5% | 5% | 5% | 5% |
| Japão | 5% | 5% | 5% | 5% | 5% | 5% |
| China e H.K. | 10% | 15% | 15% | 20% | 20% | 15% |
| Demais Países | 5% | 5% | 5% | 5% | 5% | 5% |

FONTE: Scrap Tires & Recycling - 2001

Exceto a China, que tem uma taxa de crescimento de descarte variando de 10% a 20% ao ano, nos demais países essa taxa é de, cerca, de 5% ao ano (SCRAP TIRES & RECYCLING, 2001).

Nos Estados Unidos, existem gigantescos depósitos de pneus (FIGURA 5.1). Em 1991, segundo estimativas da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA – *Environmental Protection Agency*), haviam de 2 a 3 bilhões de pneus estocados (EPA, 1991). Hoje estes estoques foram reduzidos a 300 milhões devido a aplicações de programas severos em vários estados para diminuir os estoques, a melhoria na estimação dos estoques e a perda de pneus em incêndios (RMA, 2002).



FIGURA 5.1 – Depósito de pneus – USA.
(FONTE: ARTS, 2000)

Nenhum país gera mais pneus inservíveis do que os Estados Unidos. Em 2001, foram descartados 281 milhões de pneus (cerca de 5,68 milhões de toneladas), 75% foram consumidos pelo mercado de resíduos de pneus (TABELA 5.3). Estima-se que 41% foram utilizados como combustível, 3% artefatos de borracha, 12% vendidos como granulados/moídos, 14% utilizados na engenharia civil, 5% exportados e 25% sendo depositados legalmente em aterros ou armazenados em aterros próprios (monofills) (RMA, 2002). A agência de Proteção Ambiental Americana (USEPA), estima que a taxa de descarte seja de aproximadamente um pneu por pessoa por ano (AMIRKHANDIAN, 2001), representando 1,8% dos resíduos sólidos (RMA, 2000).

Na Europa, estima-se que 300 milhões de pneus, mais de dois milhões de toneladas de pneus chegam ao fim de sua vida a cada ano. Em 1999 (TABELA 5.3), 39% foram dispostos em

aterros, 16% foram enviados para fornos de cimenteira, 4% utilizados como combustível para outros fins, 9% utilizados na engenharia civil, 11% exportados como usados, 9% como granulado/moído e 12% reformados (SCRAPTIRENEWS, 1998). Sendo que a Alemanha produz 550.000 toneladas, França 350.000, Grã Bretanha, 290.000 e Itália 150.000 toneladas, ao ano (NARRA, 2002).

No Japão, segundo dados da Associação dos Fabricantes de Pneus Automotivos (TABELA 5.3), 102 milhões de pneus foram descartados em 1999. Destes 91% foram reutilizados. Estima-se que 51% foram usados como combustível, 17% exportados, 12% reciclados, 8% recauchutados e 3% usados para outros fins (SCRAPTIRENEWS, 1998). O Japão, por razões de espaço e de cuidados na preservação do meio ambiente é o país mais adiantado na reciclagem de pneus usados, adotando um modelo integrado de soluções. Atualmente zerou seu passivo ambiental (ANIP, 2000).

TABELA 5.3 – Destino final para os pneus usados.

| Destino dos pneus usados | EUA (2001) | Europa (1999) | Japão (1998) |
|------------------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|
| Reformados | - | 36 milhões (12%) | 8 milhões (8%) |
| Combustível/recuperação de energia | 115 milhões (41%) | 60 milhões (20%) | 52 milhões (51%) |
| Artefatos de borracha | 8 milhões (3%) | - | - |
| Borracha moída | 33 milhões (12%) | 27 milhões (9%) | 12 milhões (12%) |
| Engenharia civil | 40 milhões (14%) | 27 milhões (9%) | - |
| Exportados | 15 milhões (5%) | 33 milhões (11%) | 17 milhões (17%) |
| Pirólise | - | - | - |
| Outros usos | - | - | 3 milhões (3%) |
| Total de pneus para mercado | 218 milhões (75%) | 183 milhões (61%) | 93 milhões (91%) |
| Aterros e Estoques | 63 milhões (25%) | 117 milhões (39%) | 9 milhões (9%) |
| Total gerado | 281 milhões | 300 milhões | 102 milhões |

FONTE: RMA (2002) e SCRAPTIRENEWS (1998)

O Japão é considerado o país que possui o maior percentual de aproveitamento de pneus, cerca de 91% do volume total desses resíduos. Em alguns países, como os Estados Unidos e o Canadá, existe um amplo mercado desenvolvido em torno da disposição final de pneus. O desenvolvimento desse mercado se deve à existência de legislações que fiscalizam a disposição final e criam mecanismos de incentivo à reciclagem, como Fundos para financiar atividades empresariais e pesquisas. Este contexto é percebido pela existência de diretórios de empresas fabricantes de equipamentos para a reciclagem e de empresas de reciclagem. Alguns desses

diretórios estão disponíveis na *internet* através de páginas como a www.recyclenet.com e a www.tirebusiness.com. Associações representativas e instituições governamentais, como a USEPA e a ITRA, produzem relatórios anuais de atividades e estatísticas sobre o setor (ALMEIDA, 2002).

5.2 Formas de minimização dos pneus inservíveis

Na Alemanha e nos Estados Unidos, o procedimento de minimização de resíduos vem sendo adotado como linha de ação prioritária do governo de alguns estados, tendo em vista incentivar a pesquisa de novas metodologias que se mostrem ambientalmente vantajosas (ROCCA, 1992).

Segundo JÚNIOR (1992), as formas mais usuais para solucionar os problemas referentes aos resíduos são:

- Reciclagem, quando possível;
- Compostagem, de forma limitada;
- Deposição em aterros, considerando-se que a exaustão destes é um problema a ser considerado;
- Incineração, com o inconveniente da geração de cinzas que, em última instância, poderão ser aterradas;
- Fabricação de combustíveis alternativos a partir do tratamento de resíduos com poder calorífico;
- Co-processamento em fornos de cimento;
- Encapsulamento de resíduos em concreto.

Obviamente que a melhor solução, para cada caso, dependerá de inúmeros fatores, destacando-se os aspectos técnicos e econômicos ligados à natureza, volume e localização dos resíduos, entre outros.

RESCHNER (2000), apresentou estudos sobre a classificação da reciclagem de pneus por ordem de preferência dos métodos de processamento e disposição, considerando níveis de investimentos e sensibilidade ambiental. O primeiro lugar, a recauchutagem do pneu, que se constituiria no verdadeiro sentido da reciclagem. Em segundo lugar, o uso do material e não do produto, referindo-se à comercialização da borracha usada como matéria prima. Em terceiro lugar, o uso de pneus inteiros usados para recuperação de energia, como suplemento energético

em fornos de cimenteiras. Em quarto lugar, o uso de pneus mecanicamente processados, em forma de finas lascas, ou pó, adicionados ao carvão como suplemento energético em cimenteiras, termelétricas, etc. Em quinto lugar, devido ao custo de investimento da planta industrial, vêm os processos de alteração da estrutura química dos pneus e o uso dos produtos resultantes na recuperação da energia intrínseca. Isto se refere a processos de pirólise e extração supercrítica dos óleos para a produção de combustíveis. E, em último lugar, a estocagem para aproveitamento posterior dos pneus e a disposição sem maiores cuidados e sem data para reaproveitamento, o que atualmente vem sendo largamente praticado.

No Brasil, segundo a resolução n.º 258/99, do CONAMA, há uma grande diferença, em termos de passivo ambiental, entre **tratar o resíduo** e em **coletar e dar destinação final adequada**. O tratamento consiste em se adotar técnicas que visem reduzir o volume dos resíduos em sua massa e quantidade, minimizar sua periculosidade e/ou inertizá-lo antes de sua disposição final adequada, seguindo o princípio dos “três erres”.

Além das aplicações na engenharia civil já descritas no capítulo 2, serão apresentados a seguir outras alternativas para o tratamento e eliminação encontradas.

5.2.1 Redução na fonte

A redução significa evitar a formação de resíduo, que pode ser através da melhoria do processo produtivo, da produção de pneus com maior durabilidade e da reforma dos pneus usados (MAIA, 1995).

5.2.1.1 Melhoria do processo produtivo

A melhoria do processo produtivo tem prolongado a vida útil dos pneus nos últimos 40 anos. A maior durabilidade é um aspecto positivo, pois diminui o volume de material a ser reaproveitado. Com o surgimento de pneus mais resistentes, que conseguem percorrer grandes distâncias após serem perfurados, o estepe seria desnecessário. Pneus mais leves e com menos atrito proporcionam economia de até 4% de combustível, reduzindo, portanto, as emissões na atmosfera (BNDES, 1998).

Um método está sendo desenvolvido pela *Michelin Tyred Corporation*, visando incorporar 10% de borracha proveniente de pneumáticos inservíveis, na fabricação de novos pneus. Caso esta tecnologia seja aprovada, resultará no reaproveitamento de aproximadamente 30 milhões desses inservíveis, representando uma economia de matéria-prima.

5.2.1.2 Reforma de pneus usados

Os pneus constituem o segundo item de maior custo de uso dos veículos automotores, depois dos combustíveis. Devido a isto, há muito tempo se desenvolveu o processo de reforma de pneus usados, empregada para estender o tempo de vida dos pneus automotivos. Essa prática colabora para a minimização dos impactos associados ao estágio de descarte do pneu automotivo. O pneu reformado permite minimizar custos de manutenção de frotas de veículos devido ao menor custo desse pneu em comparação com pneus novos e economizar recursos necessários para a produção de novos pneus, como matérias-primas obtidas do petróleo e energia elétrica (REINIKKA, 1995).

A reforma, consiste em substituir a banda de rodagem velha e desgastada por uma banda de rodagem nova, através de processos industriais tais como, recapagem, recauchutagem ou remoldagem. A **recapagem** é o processo de reconstrução do pneu através da substituição da banda de rodagem. A **recauchutagem** é processo de reconstrução do pneu através da substituição da banda de rodagem e dos ombros e a **remoldagem** é processo de reconstrução do pneu através da substituição da banda de rodagem, dos ombros e de toda a superfície de seus flancos (Resolução 258/99 – CONAMA). Há ainda algumas variações no processo como a utilização das partes novas pré-vulcanizadas ou não vulcanizadas, levando à classificação de processos de reforma a frio ou a quente (ALMEIDA, 2002).

Apesar destes processos prolongarem por muitos anos o uso dos pneus, há limites no número de reformas que um pneu suporta sem afetar seu desempenho (EPA, 1991; Resolução n.º 258/99-CONAMA). Um pneu de carga, utilizados em ônibus e caminhões, pode ser reformado até cinco vezes, se bem cuidado. No Brasil, a reforma de um pneu de carga, custa cerca de um terço do preço do novo. Já um pneu reformado de automóvel, custa 60% do preço do pneu novo, e não se recomenda a reforma mais de uma vez. Além disto, nos grandes centros, redes de lojas especializadas e supermercados vendem os pneus novos com pagamento parcelado, enquanto o

pneu reformado deve ser pago à vista. Estes fatores têm reduzido cada vez mais a reforma de pneus de automóveis (GERALDO, 2000).

Entretanto, nem todo pneu usado é passível de ser reformado. Para que se possa fazer a reforma, a estrutura do pneu deve estar intacta para que ele possa ser novamente utilizado em sua função original sem comprometimento da segurança. A preservação da estrutura do pneu está fortemente relacionada com aspectos comportamentais dos motoristas (condução, manobra e estacionamento do veículo), conservação do veículo (veículos desbalanceados desgastam irregularmente os pneus) e conservação das vias de trânsito (ALMEIDA, 2002).

Devido à má conservação das estradas e ruas brasileiras, metade das carcaças não atende aos requisitos para a reforma, e estima-se que apenas um terço dos pneus produzidos anualmente para o mercado interno sejam reformados, cerca de 10 milhões de pneus.

Segundo a empresa Califórnia Pneumáticos (2001), a atividade de reforma de pneus é dividida em várias etapas: 1) limpeza; 2) inspeção inicial; 3) raspagem; 4) análise da carcaça; 5) consertos; 6) montagem; 7) vulcanização; e, 8) inspeção final.

Em muitos países, a recapagem é limitada, principalmente, aos pneus de automóveis de passeio, comerciais, caminhões e ônibus. Podendo se estender à pneus de tratores, de transporte aéreo civil e militar. Aproximadamente 85% dos pneus utilizados na aviação comercial e militar no Brasil são recauchutados e a Goodyear é responsável pelo processo de recuperação de 100% dos pneus desse setor no País (GERALDO, 2000).

Os Estados Unidos e Canadá, recauchutam cerca de 100% dos pneus dos aviões, veículos militares, ônibus escolares, veículos municipais, inclusive veículos de correios e bombeiros (ITRA, 2000; TRIB, 2000).

A recauchutagem aumenta a vida útil do pneu em 40%, economiza 80% de energia e matéria-prima em relação à produção de pneus novos e diminui o volume de descarte na natureza. Um pneu de avião a jato pode ser recauchutado até 30 vezes (DESTAQUE, 1999).

A recuperação consome menos de 1/3 do petróleo para a produção de uma nova unidade. Segundo a ABR (Associação Brasileira dos Recauchutadores, Reformadores e Romoldadores), cada pneu novo produzido consome 87 litros de petróleo contra 20 litros para uma reforma (GERALDO J. (a), 2001).

A recauchutagem no Brasil é tida como uma das mais desenvolvidas do mundo, só perdendo para os Estados Unidos em volume de produção e qualidade, utilizando entre 120 e 130 mil toneladas/ano de borracha. Segundo a ABR (Associação Brasileira dos Recauchutadores, Reformadores e Remoldadores), a frota brasileira de veículos de transportes é responsável, hoje, pela utilização de 8,5 milhões/ano dos 12,2 milhões/ano de pneus recapados no País, pelas cerca de mil empresas que compõem o setor. Com a melhoria nas rodovias devido as concessões, a expectativa é que a vida útil dos pneus reformados aumente nos próximos anos (GERALDO, 2000).

A geração de pó de borracha, na preparação dos componentes novos e na raspagem da carcaça usada é a principal fonte de poluentes dessa atividade. Na forma de pó, substâncias químicas presentes na massa da borracha podem, mais facilmente exsudar e serem lavadas por águas de chuva ou efluentes. A emissão de VOC's (Compostos Orgânicos Voláteis) nas etapas de montagem e vulcanização também são pontos críticos, semelhante ao que acontece no estágio de fabricação de pneus automotivos. A geração de resíduos sólidos na raspagem das partes desgastadas do pneu usado e na preparação das partes novas, é o fator que resultou na avaliação negativa da categoria de impactos de Contaminação do Solo e Água. Esse resíduo, normalmente é destinado aos lixões e aterros, ou é abandonado. As raspas de borracha podem liberar substâncias para o meio ambiente podendo contaminar água e solo (ALMEIDA, 2002).

Considerando que o processo de reforma é um processo limitado pela quantidade e que a disposição final de pneus inteiros em aterros é simplesmente inaceitável, além das aplicações na engenharia civil, como descrito no capítulo 2, outras soluções para o seu reaproveitamento devem ser consideradas, tais como: a reutilização e a reciclagem.

5.2.2 Reutilização dos pneus usados

A reutilização refere-se a qualquer prática ou técnica que permite a reutilização do resíduo, sem que o mesmo seja submetido a um tratamento que altere as suas características físico-químicas (CETESB, 1998).

Devido às características físicas de um pneu usado (forma, elasticidade, peso, etc.), ele pode ser usado em aplicações diferentes da qual foi concebido originalmente sem qualquer tratamento prévio. Os pneus inservíveis inteiros podem ser aproveitados em obras de engenharia

(apresentado no Capítulo 2), como combustíveis em fornos de cimenteira e termoelétricas, produtos artesanais, aparelhos para *playground*, etc. (BRESSI, 1993).

A substituição de materiais inicialmente usados não pode solucionar o problema de disposição de pneus usados, porém é um sinal de uma nova mentalidade que tem que se firmar no futuro para o desenvolvimento de todas as medidas possíveis para reduzir a produção de todos os tipos de resíduos.

5.2.3 Reciclagem dos pneus inservíveis - recuperação dos materiais e energia

A reciclagem é uma das formas mais atraentes de solução dos problemas de gerenciamento de resíduos, tanto do ponto de vista empresarial como dos órgãos de proteção ambiental. Em muitos países uma série de resíduos devem obrigatoriamente ser tratados e recuperados (ROCCA, 1992).

Em termos práticos, a reciclagem de um resíduo depende dos seguintes fatores: proximidade de instalação de reprocessamento; custos de transporte dos resíduos; volume de resíduo disponíveis para o reprocessamento e custo de estocagem do resíduo no ponto de geração ou fora do local de origem. A reciclagem de um material só será viável se o produto desenvolvido tiver custo inferior a similares no mercado, ou agregar algum diferencial técnico (ROCCA, 1992).

Segundo MARCHIORI (2000), a reciclagem de pneus é um assunto complexo que envolve um gerenciamento integrado entre empresas fabricantes, empresas de recauchutagem, consumidores de energia térmica, geração de energia elétrica em usinas termoelétricas, consumidores de artefatos de borracha e seus subprodutos. O conceito de sustentabilidade dentro do Capitalismo Natural parte da premissa que as empresas devem acompanhar o **ciclo de vida** de seus produtos, das matérias-primas até a completa degradação dos mesmos na natureza. Portanto, em qualquer análise Econômica a Lei da Conservação das Massas e a Lei da Conservação da Energia deverá ser contabilizada. A solução ambiental de cada produto deverá ser objeto de pesquisa das empresas fabricantes, estabelecendo alianças com governos, levando a mudanças de hábitos dos consumidores através de intensas campanhas educativas. Caso contrário não haverá Lixões e Aterros Sanitários que suportem tamanha quantidade de rejeitos que será produzido pela população da terra nos próximos 50 anos.

A característica mais importante da atual indústria de reciclagem de borracha é a alta flexibilidade, que permite o desenvolvimento de produtos específicos de borracha reciclada que atendam ao consumidor. Inúmeros projetos para aumentar a quantidade de borracha reciclada nos compostos e o desenvolvimento de novos produtos têm sido concluídos com muito sucesso e outros ainda estão em fase de desenvolvimento (DIERKES, s.d.).

A estrutura interna de aço, do pneu radial, dificulta o processo de reciclagem, exigindo máquinas mais sofisticadas para fazer a separação do aço, incorrendo num custo mais alto para a trituração. Já o pneu do tipo diagonal, tem uma estrutura interna à base de tecidos, sendo bem mais fácil de se reciclar. Os resíduos de borracha de pneu são empregados após serem transformados em duas espécies distintas de compostos, chamados de **Recuperado** e **Regenerado**.

5.2.3.1 Borracha de pneu recuperada

O Recuperado é obtido pela simples moagem dos resíduos, a pó fino. As propriedades do recuperado, sob certos aspectos, são iguais aos da borracha vulcanizada, porém, como não vulcaniza novamente, não pode ser utilizado como substituto da borracha crua, na fabricação de artefatos (CECAE, sd)..

Seu emprego, se dá nas composições exclusivamente como carga de preço reduzido e baixo peso específico. Apesar dessas desvantagens o pó de borracha tem várias utilizações, pode substituir os polímeros que fazem parte da composição do asfalto, pisos, amortecedores, mantas, saltos, solas, tapetes para automóveis, como um material de peso leve e de grande volume utilizado em sistemas sépticos, como cobertura do piso de parques infantis e quadras de esportes, como material de enchimento e drenagem em aplicações de estradas de rodagem, colas e adesivos, câmaras de ar, rodos domésticos, tiras para indústrias de estofados, combustíveis para fornos de cimenteiras, etc. (DIERKES, s.d.; ARTS, 2000; CEMPRE, 2000; CECAE,sd).

Pode ser usado na fabricação de materiais de fricção para sistemas de freios, em todos os produtos de borracha preta (em particular no setor de transporte e no campo de poluição acústica – barreiras anti-ruído), em alguns produtos especiais que utilizam misturas de borracha e plásticos (tubos de irrigação, lonas para caminhão e *trailer*, etc.), em leito de estradas (em áreas úmidas), em reforço de solo, etc. (BRESSI, 1993).

5.2.3.2 Borracha de pneu regenerada ou desvulcanizada

A regeneração é feita por vários processos: alcalino, ácido, mecânico e vapor superaquecido. Na regeneração, os resíduos de borracha passam por modificações que os tornam mais plásticos e aptos a receber nova vulcanização (CECAE, sd).

No processo de regeneração é necessário a separação da borracha vulcanizada de outros componentes, tais como: metais e fibras. Os pneus cortados em lascas são purificados por um sistema de peneiras. As lascas são moídas e depois submetidas à digestão em vapor d'água e produtos químicos, como álcalis e óleos minerais, para desvulcanizá-las. O produto obtido pode ser então refinado em moinhos até a obtenção de uma manta uniforme ou extrudado para a obtenção de grânulos de borracha (CEMPRE, 2000).

A borracha regenerada apresenta duas diferenças básicas do composto original: possui características físicas inferiores, pois nenhum processo consegue desvulcanizar a borracha totalmente, e tem uma composição indefinida, já que é uma mistura dos componentes presentes (DESTAQUE, 1999; CEMPRE, 2000).

O regenerado deve ser considerado como uma matéria-prima para a produção de artefatos e não como substituto de qualidade inferior da borracha crua, sendo empregado freqüentemente em combinação com a borracha crua. Pode ser empregada na fabricação de tapetes, pisos industriais e quadras esportivas, sinalizadores de trânsito, rodízios para móveis e carrinhos. Também, é utilizada na recauchutagem de pneus, no revestimento de tanques de combustível, como aditivo em peças de plásticos, etc.

No Brasil já existe tecnologia em escala industrial para regeneração da borracha pelo processo a frio, obtendo um produto reciclado com elasticidade e resistência semelhantes às do material virgem. Além disso, essa técnica usa solventes capazes de separar o tecido e o aço dos pneus, permitindo seu reaproveitamento (CEMPRE, 2000).

Um novo processo para a desvulcanização está em desenvolvimento no Laboratório de Tecnologia Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais. Com um solvente mais acessível e de menor custo pretende-se tornar o processo atual menos complexo, e viável para menores escalas de produção.

O mercado mais importante para a borracha reciclada de alta qualidade é a indústria de pneumáticos. Introduzir o regenerado nestes compostos resultou numa melhoria do processo de produção, com algumas propriedades físicas melhoradas e uma redução de custos (DIERKES, s.d.).

O teor de regenerado em um composto pode variar de um pequeno percentual até 100%; o teor médio é de 5% a 15%. As aplicações preferidas para esses produtos, consistindo de 100% de regenerado, são mantas e lençóis (DIERKES, s.d.).

5.2.3.3 Processo para trituração/redução dos pneus

Os pneus podem ser triturados, basicamente, através de dois processos: **processo mecânico** (por trituração à temperatura ambiente) e o **processo criogênico** (congelamento seguido de tratamento mecânico). O tamanho das partículas de borracha varia com o seu processo de produção (tipo de equipamento, temperatura, etc.).

O **processo mecânico** consiste em uma série de trituradores, peneiras, correias transportadoras e tambores magnéticos para remoção do aço, se necessário, e é dividida em três tipos: *granulator*, *cracker mill* e *micro mill*. A diferença entre os métodos que utilizam o processo mecânico está no tamanho das partículas: *granulator* produz partículas que variam de 2,0 a 9,5 mm (constituído de partículas de forma cúbica, uniformes e com pequena área superficial, denominado de borracha granulada); *cracker mill* produz partículas que variam de 0,42 a 4,8 mm (formado por partículas irregulares com maior área superficial); *micro mill* produz partículas finas que variam de 0,075 a 0,42 mm. O processo é realizado em uma série de estágios (frequentemente até seis), através dos quais as partículas são progressivamente reduzidas de tamanho. Neste processo o aço é retirado por eletroímãs sendo que os equipamentos mais modernos permitem a retirada deste aço por inteiro já no primeiro estágio. As fibras presentes nas lonas dos pneus são retiradas por peneiramento.

Veja na FIGURA 5.2 uma planta de processamento de pneus inservíveis e nas FIGURAS 5.3 e 5.4 o material resultante.

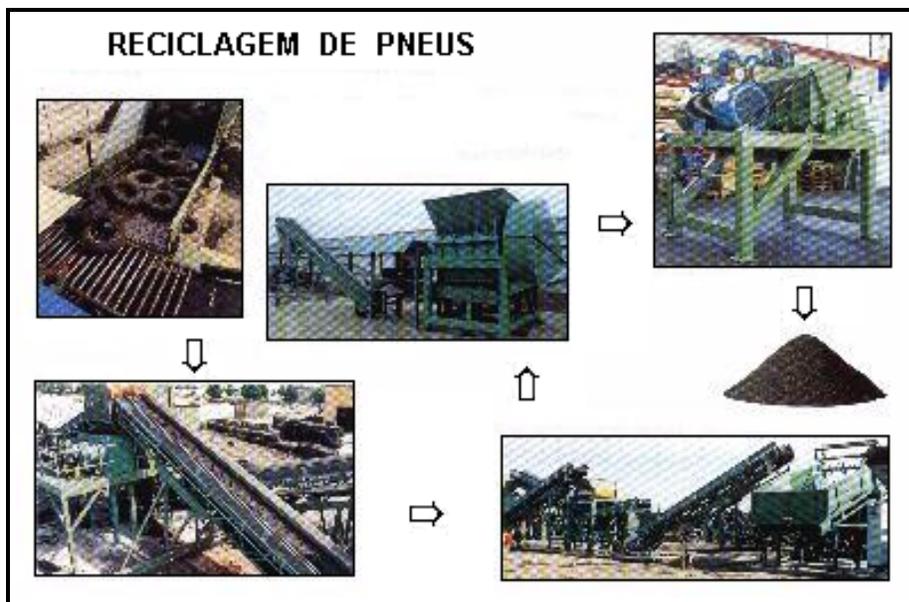


FIGURA 5.2 – Esquema de uma planta de reciclagem de pneus.
(Processo Mecânico)



FIGURAS 5.3 e 5.4: Borracha de pneu moída resultante da trituração mecânica.

O **processo criogênico** consiste na submersão da borracha de pneus em nitrogênio líquido (-80°C a -200°C), para provocar o congelamento. Nesta temperatura a borracha torna-se extremamente frágil, podendo ser facilmente triturada em um moinho de impacto (moinho de martelo) que reduzem ao tamanho de partículas finas ou superfinas (geralmente de 0,5mm a 0,1mm).

Comparativamente, o processo exclusivamente mecânico, à temperatura ambiente, é de menor investimento inicial, simplicidade e flexibilidade do processo, e volume de produção elevados. A borracha produzida oferece características físicas superiores àquelas produzida pelo processo criogênico, sendo a principal, a elevada superfície específica das partículas. Mas também há desvantagens, como alterações químicas na borracha, produzidas pelo calor gerado pelo atrito

resultante do processamento (temperatura máxima = 120°C), quando este não for controlado adequadamente, e há a necessidade de um controle eficiente para evitar o espalhamento das partículas de borracha dentro das instalações de trituração. Também apresentam custo de manutenção e consumo de energia maiores que o processo criogênico. As partículas passam por estágios sucessivos de trituração até que seja obtida a granulometria desejada. Este processo é o mais empregado atualmente por possuir a melhor relação custo-benefício.

O processo criogênico apresenta vantagens de um pó de granulometrias regulares e muito reduzidas, a limpeza do produto final e a reduzida manutenção. Há dois problemas fundamentais com o processo criogênico. O primeiro é o elevado custo operacional e o segundo está relacionado às características físicas da borracha produzida. Neste processo o consumo de energia e os custos de manutenção são mais baixo, quando comparado à trituração em temperatura ambiente, entretanto os custos com gases criogênicos são elevados, sendo necessário de 0,7 a 1,2 litros de gás para cada quilograma de borracha produzida. Isso significa que a viabilidade comercial só pode ser alcançada com a produção de borracha extremamente fina e em larga escala. O segundo problema está relacionado à qualidade da borracha produzida, que possui características técnicas inferiores àquela obtida à temperatura ambiente. O processo de redução do tamanho da partícula faz com que as mesmas possuam arestas polidas e pequena superfície específica, o que diminui sua interação com outros materiais.

No processo de redução em pequenas partículas, com a separação do aço, das fibras e da borracha, todos os componentes são reaproveitáveis. O aço é enviado para siderurgia enquanto a borracha e as fibras possuem muitas aplicações, tais como: reforço em caixas de papelão e indústrias têxteis (RUTH et al., 1997; SALINI, 2000).

Quanto menor a granulometria, maior o custo envolvido e, esse custo pode inviabilizar o desenvolvimento de alguns mercados potenciais. Neste ponto, é fundamental a parceria entre universidades e empresas, buscando-se analisar as oportunidades de mercado e o desenvolvimento de tecnologias adaptadas à realidade brasileira e que possibilitem a utilização da borracha reciclada em larga escala (BERTOLLO, et al., 2002). No Brasil, a **Resolução 258/99**, do CONAMA, tem forçado a abertura deste mercado.

Veja no Quadro 5.1, a comparação dos dois métodos de trituração de pneus.

QUADRO 5.1 – Métodos de reciclagem de pneus usados.

| Método | Vantagens | Desvantagens | Produtos finais |
|---|---|--|---|
| <p>Processo Mecânico</p> <p>Trituração/ moagem à temperatura ambiente</p> <p>($t < 120\text{ }^{\circ}\text{C}$)</p> | <ul style="list-style-type: none"> - Valor do investimento inicial inferior - Simplicidade do processo - Flexibilidade do processo - Qualidade do produto final (granulado de formato irregular com grande superfície de contato) - Volume de produção elevado - Não emissão de óxido de enxofre e óxido de azoto - Processo limpo | <ul style="list-style-type: none"> - Alteração química na borracha, produzidas pelo calor gerado pelo atrito resultante do processamento - Necessidade de um controle eficiente para evitar o espalhamento das partículas de borracha dentro das instalações de trituração - Custo de manutenção e consumo de energia maior | <p>Granulado de borracha</p> <p>Metal</p> <p>Têxtil</p> |
| <p>Processo Criogênico</p> <p>Congelamento Seguido de tratamento mecânico</p> <p>($-200^{\circ}\text{C} < t < -80^{\circ}\text{C}$)</p> | <ul style="list-style-type: none"> - Reduzida manutenção - Possibilidade de obtenção de granulometrias muito reduzidas - Limpeza do produto obtido - Não emissão de óxido de enxofre ou de azoto - Reduzido índice de desperdício durante o processo - Processo limpo | <ul style="list-style-type: none"> - elevado custo operacional - características físicas da borracha produzida inferiores àquelas produzidas por processo mecânico | <p>Granulado de borracha</p> <p>Metal</p> <p>Têxtil</p> |

FONTE: Biosafe: reciclagem de pneus – status e opções 1999

No mercado já existem alguns padrões de borracha reciclada que determinam conforme o produto sai da usina. Cada medida é utilizada para um tipo de indústria, que a utiliza como matéria-prima ou complemento para a fabricação de seus produtos. Quanto menor a granulometria da borracha reciclada maior é o seu preço (UTEP – Usina Trituradora Ecológica de Pneus, 2002).

Os padrões de fabricação são os seguintes:

a) Granulado de Borracha de 4 a 7 mm: Utilizado como matéria-prima para a fabricação de produtos de borracha como: tapetes; *pallets*; coxins automotivos; correias automotivas e industriais; tijolos para queima, alimentação de caldeiras e fornos em geral. Utilizado como complemento para a fabricação de produtos como: tubos; retentores para motores, bombas,

encanamentos, etc; mantas de isolamento acústico e térmico; cintas para reboque e levantamento de cargas; sinalização de solo para tráfego.

b) Granulado de Borracha de 1,5 a 3 mm: Utilizado como matéria-prima para a fabricação de produtos de borracha como: pavimentação (misturado com o asfalto); solados para calçados; pequenos retentores; revestimentos de peças metálicas, pisos esportivos, construção civil, onde possui inúmeras aplicações.

c) Pó de Borracha de 0,3 a 2 mm: Utilizada como matéria-prima para a fabricação dos seguintes produtos: adesivos; vinil; lubrificantes para a indústria de plásticos, evita que peças plásticas colem entre si quando armazenadas; fabricação de peças de borracha, retentores com diâmetro inferior a 0,3 cm; pastilhas e lonas de freio; tintas; tijolos de alta resistência; látex; goma para adesivos; pneus (adicionado 10%).

A TABELA 5.4, apresenta o estudo feito por RESCHNER (2002), do rendimento de produtos típicos de pneus inservíveis.

TABELA 5.4 – Rendimento de produtos típicos de pneus inservíveis.

| Produtos | Pneu de Caminhão | Pneu de Camioneta | Pneu de Carro |
|-----------------|-------------------------|--------------------------|----------------------|
| Borracha moída | 70% | 78% | 70% |
| Aço | 27% | 15% | 15% |
| Fibra e resíduo | 3% | 7% | 15% |

FONTE: RESCHNER, 2002

5.2.3.4 Outras formas para trituração/redução dos pneus

Existem vários outros processos desenvolvidos para a trituração/redução dos pneus para aplicações diversas. Alguns são rudimentares enquanto outros envolvem sistemas bastante avançados, com o emprego de ultra-som ou microondas, ou processos químicos, entretanto a participação destes no mercado é insignificante ou simplesmente não estão disponíveis a nível comercial (ADHIKARI; 2000; SALINI; 2000).

Além das aplicações no campo da engenharia, como enfocado no capítulo 2, outras aplicações podem contribuir para a redução do volume e reaproveitamento de pneus inservíveis, tais como: a recuperação de energia através da queima dos pneus, produção de combustível alternativo (pirólise), compostagem, exportação dos pneus meia vida, aterros ou depósitos próprios para posterior utilização.

5.2.4 Recuperação de energia (queima)

A queima à céu aberto, que gera fumaça negra de forte odor (dióxido de enxofre) é proibida em vários países, inclusive no Brasil. Porém, a queima de pneus velhos em fornos controlados é uma alternativa rentável de reaproveitamento, pois cada pneu contém a energia de 9,4 litros de petróleo (CEMPRE, 2000).

Pneus inteiros ou processados têm sido usados como fonte de energia desde 1975. A prática do uso do pneu como combustível (TDF – *Tire Derived Fuel*) começou na *Dickerhoff Cement*, em Frankfort, Alemanha. O TDF foi introduzido nos EUA, antes de 1979, foi primeiramente usado em caldeiras de indústrias de papel e celulose no estado de *Washington*. Hoje, nos EUA, o TDF é o maior mercado de fim de uso, para os pneus inservíveis, consumindo 115 milhões de pneus inservíveis por ano (RMA, 2002). Em 2001, nos Estados Unidos, a ASTM (*American Society of Testing and Materials*) aprovou o padrão prático para o uso de pneus inservíveis como combustível (D6700-01) e claramente classifica o TDF como uma fonte de energia provada (RMA, 2002).

A forma inteira é preferível pois elimina os gastos com energia para cortá-los e eles são manuseados e transportados uma só vez. Uma caldeira industrial grande pode eliminar milhões de pneus por ano e geralmente utiliza pneus cortados. Infelizmente nem todas as caldeiras são compatíveis com o TDF. O acúmulo e o entupimento são comuns e impedem o uso de TDF em muitas instalações. Outro impedimento é o problema de disposição dos metais e cinzas resultantes da queima do pneu (www.scraptire.com).

Existe um grande inconveniente na queima da borracha em caldeiras, são exalados gases tóxicos com grandes concentrações de enxofre e de amônia. Este tipo de utilização não é o mais indicado, pois os filtros têm um elevado custo tanto na implantação como na manutenção, tornando-se assim um processo danoso ao meio ambiente, que pode levar a precipitação de chuvas ácidas, contaminando ar, solo e água (www.reciclagem2000/pneu.htm).

Os principais usuários de pneus em caldeiras são as de fábricas de papel e celulose, as indústrias de cal e cimento e usinas termoelétricas, que usam a carcaça inteira e aproveitam alguns óxidos contidos nos metais dos pneus radiais (CEMPRE, 2000). Cada quilograma de pneu libera entre 8,3 a 8,5 quilowatts por hora de energia. Esta energia é até 30% maior do que a contida em 1 quilo de madeira ou carvão (www.recicloteca.org.br - 1999).

Segundo TUNES (1998), o melhor método para queimar os pneus sem que ocorra problema com a fumaça negra e poluente é o co-processador, ou seja, a queima de resíduos industriais em fornos de cimento em que resíduos são usados para gerar energia. A queima de resíduos industriais a 1700°C transforma quimicamente as substâncias perigosas, fazendo com que as emissões de gases na atmosfera sejam menos poluentes. As cinzas resultantes são incorporadas ao cimento e ficam encapsuladas em concentrações aceitáveis.

O co-processamento de pneus em fornos de clínquer é uma forma segura para a disposição final deste material, pois os pneus apresentam condições favoráveis tais como: alta temperatura, elevado tempo de residência (que evita a liberação de emissões), alto efeito de absorção da matéria-prima no pré-aquecimento e a incorporação das cinzas geradas ao clínquer. Além disso, devido ao alto poder calorífico, cerca de 7.000 kCal/kg (14 mil a 16 mil Btu/lb), seu co-processamento contribui para a diminuição do consumo de combustíveis não renováveis, como o carvão e o óleo, poupando dessa forma os recursos naturais (SOUZA, 2000; RMA, 2002).

Nestas aplicações os pneus são usados em combinação com o carvão, substituindo até 25% o carvão. No EUA, essas instalações são monitoradas e regulamentadas de perto pelo governo estadual e federal (www.scraptire.com).

Diversas fábricas de cimento nos Estados Unidos, Europa e Japão, estão co-processando pneus nos fornos de clínquer e comprovam que essa tecnologia não gera subprodutos poluentes, não afeta o processo de produção, não prejudica a qualidade dos produtos (clínquer e cimento) e não provoca emissões atmosféricas significativas (SOUZA, 2000). Esta operação combinada é a fórmula mais eficiente e econômica de destruir e reciclar grandes volumes de resíduos (LUND, 1993; KIHARA e MARINGOLO, 2000).

A utilização dos pneus descartados como combustível em fornos de indústrias de cimento apresentam as seguintes vantagens: elimina totalmente o pneu descartado; não produz resíduos; tem a capacidade de usar grandes volumes de pneus descartados; conserva os recursos naturais de combustível fóssil; não requer nenhum pré-processo (retalhação); sua queima produz menos emissões do que a queima de carvão e são amparados por lei (www.scraptire.com).

Uma análise dos dados das emissões coletadas nas instalações que usam o TDF, demonstra que as emissões estão dentro dos padrões permitidos. Em muitos casos as emissões de NO_x, CO₂,

HC, HCl, SO₂, metais, hidrocarbonos e pó, comparadas com os limites permissíveis em vários países, estão bem abaixo dos limites estabelecidos pela legislação (SOUZA, 2000; RMA, 2002).

Segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), tecnicamente todas as indústrias de cimento estão aptas a utilizar pneus inservíveis em seus fornos como substitutos de combustível; entretanto a decisão é de ordem econômica e da disponibilidade de pneus. O panorama nacional de gestão de resíduos através do co-processamento é positivo e altamente promissor, porém ainda pouco representativo quando comparado aos valores expressivos de outros países. O Brasil está representado por empresas estrangeiras, com atuação local, como a Cimpor, Holdebank e a Lafarge, além da brasileira Votorantim.

A indústria brasileira de cimento, com um parque produtor constituído de 58 unidades, entre as quais 46 fábricas e 12 unidades de moagem, desempenha um importante papel no cenário nacional e internacional, ocupando a 6^a posição entre os maiores produtores mundiais, com 40 milhões de toneladas produzidas em 1999 (KIHARA e MARINGOLO, 2000). Atualmente, existem 7 instalações – duas no Paraná, uma em São Paulo, duas em Minas Gerais e duas no Rio de Janeiro, com licença para queimar os resíduos (inclusive pneus) e outras 14 encontram-se em processo de licenciamento junto aos órgãos ambientais (ABCP, 2002). As empresas já licenciadas, são: a Companhia Ribeirão Grande, em São Paulo; Soecom, em Minas Gerais; Holdercim, nas unidades de Pedro Leopoldo (MG) e Cantagalo (RJ); Companhia de Cimento Itambé, no Paraná; e Votorantim Cimentos, nas fábricas de Rio Branco do Sul (PR) e Cantagalo (RJ). Veja na FIGURA 5.5, a localização das fábricas nacionais, em destaque as 7 unidades que já co-processam resíduos e as 14 que se encontram em processo de licenciamento (KIHARA e MARINGOLO, 2000).

O co-processamento de resíduos em fornos de cimento não traz à sociedade uma solução definitiva para a gestão de todos os tipos de resíduos gerados. Representa, no entanto, uma alternativa extremamente viável para a destruição de uma gama enorme deles, ao mesmo tempo em que, valorizando seu teor energético ou composição química, contribui favoravelmente à política global de gestão de resíduos. A parceria do setor industrial com o órgão ambiental, fundamentado em uma política ativa de comunicação e diálogo, constitui a ferramenta mais segura e eficiente de implantar e implementar uma gestão ambiental de modo a garantir um balanço ecológico sustentado (KIHARA, 2000).

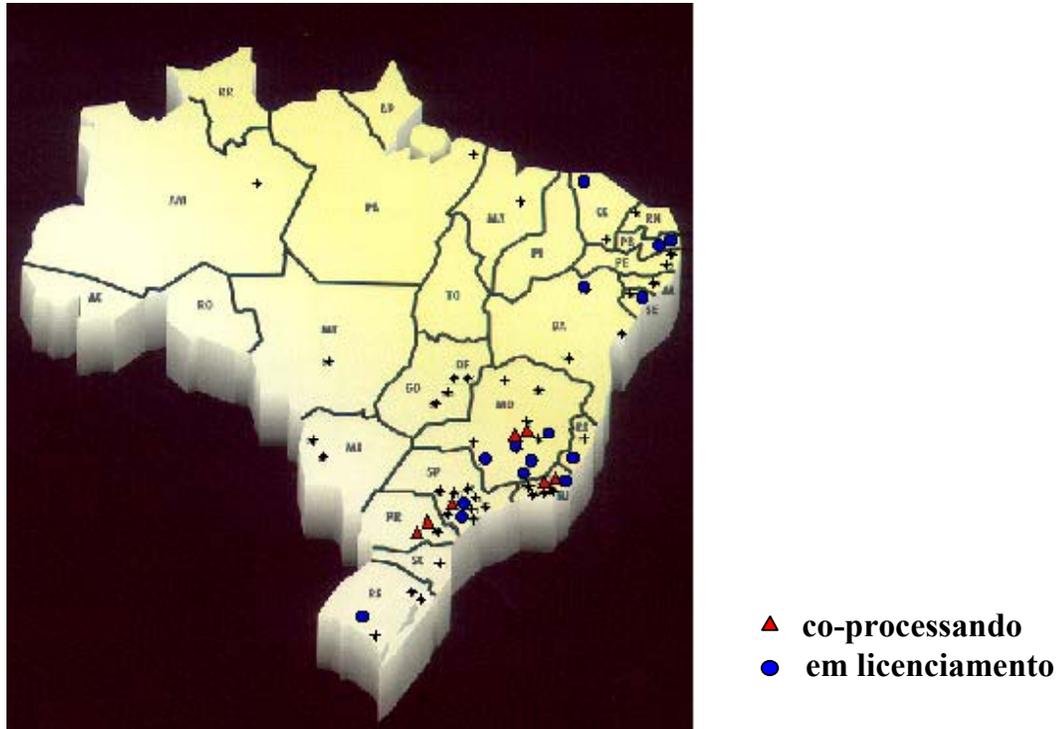


FIGURA 5.5 – Fábricas de Cimento no Brasil.
(FONTE: KIHARA e MARINGOLO /2000)

Um fator que deverá impulsionar o crescimento da utilização de pneus como combustível alternativo no País é o respaldo devido a Resolução n.º 258/99, do CONAMA. Além disso, testes comprovaram o alto poder calorífico do material, quando comparado ao óleo combustível. Entretanto, o uso de pneus como fonte alternativa necessita de licença por parte dos órgãos ambientais.

5.2.5 Produção de óleo e gás (pirólise)

Pirólise, retortagem ou ainda destilação destrutiva de pneus é a transformação do material elastomérico de composição química complexa, em outros compostos hidrocarbonetos como óleo e gás, inclusive de maior peso molecular, devido à isomerização, unicamente pelo calor (HAWLEY G. G., 1971).

Estudos técnicos do Conselho de Gerenciamento de Pneus Usados (*STMC – Scrap Tire Management Council*), órgão do Departamento de Energia dos Estados Unidos, em seu relatório de 1992, sugerem o aproveitamento do conteúdo energético como combustível sólido numa variedade de aplicações potenciais, entre elas a pirólise como processo recomendável (STMC, 1992).

A pirólise implica no aquecimento dos pneus a uma temperatura superior a 1000°C, em um ambiente com teor de oxigênio muito baixo ou muito elevado e com pressão abaixo da atmosfera. O objetivo deste processo é superaquecer a borracha sem levá-la à combustão. Sob temperaturas e pressão apropriadas a fração de óleo existente e algumas associações orgânicas são liberadas na forma líquida enquanto outras frações são liberadas na forma de gases voláteis. Os gases podem ser recuperados e queimados para produzir vapor ou empregados como combustível em motores apropriados. A fração líquida pode ser utilizada como combustível ou mesmo refinada, extraíndo-se então frações leves e pesadas. A parte remanescente do pneu é basicamente um esqueleto de carbono (carvão), que pode ser prensado para formar blocos ou granulado (SALINI, 2000).

O carbono produzido por este processo é invariavelmente contaminado por elevados teores de zinco e outros metais, e o seu valor de venda normalmente é baixo. A qualidade dos produtos provenientes da pirólise pode ser melhorada se a parte metálica existente nos pneus for previamente retirada, entretanto este pré-processamento necessita ainda de mais equipamentos e instalações industriais (SALINI, 2000).

Também foram constatados problemas relacionados à saúde dos trabalhadores que operam estes sistemas, sendo que há fortes suspeitas de aumento na ocorrência de câncer relacionado à inalação destas partículas de carbono, sendo necessária a adoção contínua de medidas rigorosas e seguidamente caras para controlar estas partículas (SALINI, 2000).

Embora os avanços tenham sido feitos no processo de pirólise nos últimos 20 anos, existem dúvidas a respeito da viabilidade econômica desta tecnologia no uso de pneus inservíveis. Nos EUA, Canadá, Japão e Europa, não existem instalações comerciais operando (RMA, 2002).

5.2.6 Compostagem

Os resíduos de pneus não podem ser transformados em adubo, mas a borracha cortada em pedaços de 5 cm pode ajudar na aeração do composto orgânico devendo ser retiradas do adubo antes da comercialização e também em solos compactados (CEMPRE, 2000).

5.2.7 Exportação

Alguns países têm adotado a exportação de pneus usados e inservíveis, para países em desenvolvimento, onde estes são utilizados em processos de reforma ou reciclagem, devido a sua viabilidade econômica e também, como forma de se livrarem do seu passivo ambiental. Essa alternativa evita os impactos relacionados à questão da disposição final, resultando apenas na transferência de resíduos, não colaborando para a solução efetiva da questão.

Estima-se que pelo menos 10% dos pneus usados, gerados em países industrializados, são vendidos como pneus meia vida para países menos industrializados da Europa Oriental, África e América Latina. O problema da exportação de pneus usados é que os países receptores terminam com uma quantia desproporcional de pneus inservíveis, pois, estes países, normalmente, não tem nenhum apoio legal e nem infra-estrutura industrial para lidar com a disposição do pneu inservível de maneira ambientalmente segura e econômica (RESCHNER, 2002).

5.2.8 Aterros sanitários ou depósitos próprios (monofills)

Para efeito de disposição final, os pneus são classificados como resíduos inertes, não havendo impedimento à sua destinação em aterros sanitários, desde que observadas as técnicas adequadas de manejo. A exigência de retalhamento ou trituração fixada na resolução do Estado de São Paulo, foi uma forma encontrada para reduzir seu volume e a possibilidade dos pneus voltarem à superfície, devido à dificuldade de compactação. As restrições à sua disposição, à céu aberto, estão relacionados aos problemas de saúde e higiene e aos riscos de incêndio e poluição. Quando colocados em depósitos próprios, deverão obedecer algumas medidas de proteção para evitar a proliferação de insetos e incêndio (CETESB, 2000).

Nos Estados de Ohio e Carolina do Norte (EUA), os pneumáticos inservíveis são triturados, e após dispostos em minas de carvão abandonadas, ou em áreas que possuam similaridade, servindo de receptáculo para o armazenamento desses resíduos. A vantagem é que esse tipo de disposição não causa ameaça ao meio ambiente e nem à saúde pública, proporcionando ainda, a utilização de um espaço físico que não possui interesse de ocupação quer residencial ou comercial. A limitação para essa solução reside na falta de espaços físicos condizentes, acrescido dos custos envolvidos para fragmentar, transportar e manusear esses inservíveis.

5.3 Mercado nacional de pneumáticos

No Brasil, o mercado esteve historicamente dividido entre Goodyear, Firestone e Pirelli, até a década de 80, quando a Michelin instalou-se no Rio de Janeiro. A TABELA 5.5 apresenta algumas características da indústria de pneumáticos no Brasil. Observa-se que a capacidade instalada era da ordem de 35 milhões de pneus anuais, somente para os segmento de veículo de passeio e carga. O faturamento do setor em 1998 foi estimado em R\$2,75 bilhões, considerando que a Goodyear tem a maior participação no mercado total (BNDES, 2000).

TABELA 5.5 – Fabricantes de Pneus Instalados no Brasil

| Empresa | ROL (1998) R\$ milhões | Capacidade Instalada | N.º de plantas | Localização |
|----------------|-----------------------------------|---------------------------------|-----------------------|--------------------|
| Goodyear | 930 | 47.500 pneus/dia | 2 | SP |
| Pirelli | 740 | 37.000 pneus/dia | 4 | SP,RS, BA |
| Firestone | 700 | 28.000 pneus/dia | 1 | SP |
| Michelin | 360 | 3.000 pneus/dia | 1 | RJ |
| João Maggion | 11 | 8.000 pneus/dia | 1 | SP |
| Rinaldi | 9 | 3.500 pneus/dia | 1 | RS |
| Total | 2.750 | 127.000 pneus/dia | 10 | - |

FONTE: Rubber & Plastics News e Gazeta Mercantil

O excelente desempenho dos setores automobilístico e agro-industrial brasileiro durante meados da década de 90, bem como as perspectivas de integração regional vislumbradas com o Mercosul, atraiu outras duas grandes marcas mundiais de pneus, Continental e Kumho. Além disso, Pirelli e Firestone investiram em modernização das suas plantas, enquanto a Goodyear está instalando uma nova fábrica no Rio Grande do Sul e a Michelin inaugurou uma fábrica para pneus de automóveis no Rio de Janeiro. O fabricante tcheco Ranira também possui planos para se instalar na Bahia, enquanto a Kumho adiou a construção de sua fábrica no Paraná. A capacidade instalada tende a ser significativamente ampliada, pelo menos 5 milhões de pneus/ano (BNDES, 2000).

As indústrias de pneus instaladas no Brasil às vésperas da 2ª Guerra Mundial atravessaram todas as crises econômicas e os vários sistemas políticos, investindo e produzindo sempre em termos de desenvolvimento e tecnologia. O setor de pneus passou por significativa mudança, com questões como o contingenciamento e equalização de preços na importação de borracha natural; a liberação (e posterior proibição) da importação de pneus usados; e a inclusão do setor no Regime Automotivo (BNDES, 2000).

5.3.1 Produção Nacional

Os dados do setor de pneumáticos são consolidados pela Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos (ANIP) e, até 1999, não contabilizava a produção da Michelin, pois esta ainda não havia se associado. A distribuição da produção de pneus pelos segmentos consumidores é apresentada na TABELA 5.2, atingindo o total de 49 milhões de unidades em 2001.

A demanda do mercado interno de pneus visa abastecer 2 mercados específicos:

- Mercado de reposição e
- Mercado original (OEM).

No mercado original, o abastecimento é basicamente de pneus da produção nacional, enquanto que no mercado de reposição é comum encontrar pneus importados. Embora empresas instaladas no país também realizem importações de pneus, elas não estão entre as mais representativas (BNDES, 1998). A indústria nacional de pneus abastece montadoras e destina cerca de 50% da produção para a reposição e cerca de 20% para o mercado original (ANIP, 2002).

Segundo dados da produção de pneumáticos dos últimos cinco anos, houve uma queda de 5% de 1997 a 1998 e, um crescimento de 29% de 1998 a 2001 (TABELA 5.6). Em 2001, a indústria nacional produziu cerca de 49 milhões de pneus. Desse total, cerca de 62% consistia de pneus para veículos de passeio, 11,5% para caminhões e ônibus, 9,5% para comerciais leves, e o restante para máquinas industriais/agrícolas e outros (FIGURA 5.6).

**TABELA 5.6 – Produção de Pneus por Categoria no Brasil (inclusive radiais)
(em unidades)**

| Categoria | 1997 | 1998 | 1999* | 2000 | 2001 |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Carros de Passeio | 26.469.079 | 24.215.271 | 26.190.638 | 27.857.369 | 30.171.494 |
| Comerciais Leves | 3.585.348 | 3.383.152 | 3.522.178 | 3.961.107 | 4.660.610 |
| Caminhões/Ônibus | 3.785.387 | 3.793.796 | 4.649.633 | 4.768.205 | 5.625.484 |
| Outros | 6.074.106 | 6.465.321 | 6.922.658 | 6.946.000 | 8.497.436 |
| Total | 39.913.920 | 37.857.540 | 41.285.107 | 43.532.681 | 48.955.024 |

FONTE: ANIP/SINPEC

* inclui os dados da Michelin, que só se associou à ANIP em 1999

Deve ser destacado que um pneu de caminhão ou ônibus tem peso de 8 a 10 vezes o de um pneu para um veículo de passeio. Ou seja, o faturamento unitário neste segmento é bastante superior, assim como nos segmentos industrial e agrícola. Na categoria “outros” estão incluídos os pneus para tratores, máquinas agrícolas, veículos industriais, motonetas e motocicletas (BNDES, 2000).

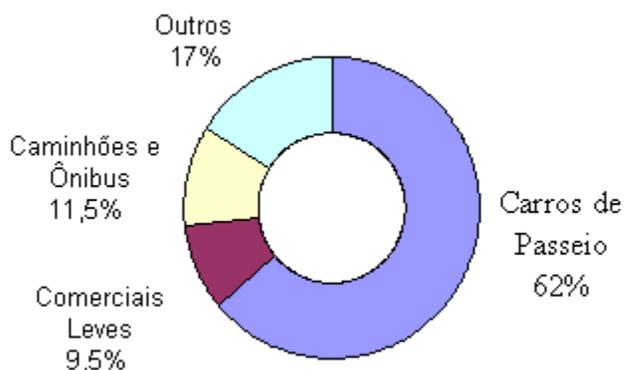


FIGURA 5.6 – Distribuição da Produção de Pneus – 2001
(FONTE: ANIP/SINPEC 2002)

Durante a década de 70, os pneus radiais ganharam um mercado maior, já existindo modelos de linha equipados com os radiais. No entanto, somente durante a década de 90 essa substituição se acelerou e os pneus convencionais passaram a ter uma parcela do mercado cada vez menor.

A produção de pneus radiais em 2001 correspondeu a 75% da produção nacional. Nesse ano, a produção de pneus radiais correspondeu a 98% da produção destinada a veículos de passeio, 68% para os comerciais leves e 65% para ônibus e caminhões (TABELA 5.7).

TABELA 5.7 – Produção de Pneus Radiais por Categoria no Brasil
(em unidades)

| Categoria | 1997 | 1998 | 1999* | 2000 | 2001 |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Carros de Passeio | 25.621.468 | 23.529.911 | 25.552.957 | 27.182.385 | 29.655.817 |
| Comerciais Leves | 2.123.842 | 1.968.003 | 2.105.032 | 2.438.963 | 3.172.302 |
| Caminhões/Ônibus | 1.833.461 | 2.111.981 | 2.980.750 | 3.076.763 | 3.669.644 |
| Outros | | 5.572 | 2.049 | 7.883 | 22.248 |
| Total | 29.578.771 | 27.615.467 | 30.640.788 | 32.705.994 | 36.520.011 |

FONTE: ANIP/SINPEC

* inclui os dados da michelin, que só se associou à anip em 1999.

Os pneus convencionais, hoje, são dirigidos basicamente para reposição e para caminhões. Particularmente, no caso dos caminhões, a exigência por convencionais com câmara deve-se à dificuldade dos caminhoneiros em achar, em determinadas regiões remotas do país, borracheiros equipados para reparar radiais (BNDES, 1998).

O mercado de convencionais com câmara, tende a permanecer por mais um período bastante longo, ou seja, a introdução dos radiais na frota de caminhões deve ser lenta (BNDES, 1998).

5.3.2 Importação

Segundo estudos do BNDES (1998), o crescimento das importações foi explosivo no período 93-98, registrando-se acréscimo de 455% em valor e de 420% em volume. Em 1999 as importações caíram 26,5% em valor e 24% em volume, em relação ao ano anterior, devido à desvalorização cambial e à retração da economia brasileira (TABELA 5.4 e 5.5). Os fabricantes instalados no país também são importadores de pneus, estimando-se que este item signifique 20% do valor total importado por estas empresas (que inclui matérias-primas). Outras marcas presentes no mercado interno são Fate, Kumho, Hankook, Continental, Yokohama e Toyo (BNDES, 2000).

A partir de 1990, passou-se a verificar a importação de pneus usados. Essa importação foi proibida pelo IBAMA em 1992, porém continuaram amparadas em concessões de liminares e mandados de segurança. A importação de pneus usados atingiu seu maior volume em 1994, correspondendo à metade do mercado de reposição, segundo estudo do BNDES. Em 1995, as importações de pneus usados foram novamente proibidas por Portaria Interministerial do Ministério da Fazenda e do Ministério da Indústria, Ciência e Tecnologia – MICT. Mas continuaram a ser importados através de mandados de segurança. Somente em 1996, através de decisão do Supremo Tribunal Federal, essa prática foi inibida, mas não completamente proibida. O Ministério da Fazenda e o MICT ganharam plenos poderes para fiscalizar e proibir a entrada de produtos considerados danosos em termos econômicos ou ambientais. Pesquisa realizada pelo Instituto Nacional de Segurança no Trânsito (INST) constatou que 85% dos pneus de um lote de 120 pneus importados não apresentavam condições de uso (BNDES, 1998).

Os dados da Secretaria do Comércio Exterior (Secex) apresentam o total de importações por categoria efetuadas pelo mercado brasileiro de pneumáticos. Julgou-se mais adequada a apresentação destes dados expressos em valor (US\$) e em peso (toneladas).

Como infelizmente, a ANIP fornece apenas o volume unitário consolidado de suas associadas (incluindo a Michelin somente a partir de 1999), a comparação dos dados das duas fontes mostrou-se impossível. Observa-se que a participação dos pneus recauchutados e usados nas importações, altamente nocivos no aspecto ambiental, foi da ordem de 5 a 6% até 1999, considerando o valor, pois são importados a preços muito reduzidos, principalmente os usados (TABELA 5.8) e após 1999 uma redução. Considerando o peso, estes itens vêm representando de 25 a 30% do total das importações nos últimos anos (TABELA 5.9), e sua evolução está representada na FIGURA 5.7.

TABELA 5.8 – IMPORTAÇÃO, em milhares de dólares FOB

| Tipo de pneu | 1997 | | 1998 | | 1999 | | 2000 | | 2001 | |
|------------------|----------------|------------|----------------|------------|----------------|------------|----------------|------------|----------------|------------|
| | US\$ | % |
| Automóveis | 65.107 | 24 | 77.660 | 27 | 72.773 | 34 | 84.934 | 32 | 93.536 | 38 |
| Ônibus/Caminhões | 146.252 | 55 | 153.247 | 53 | 100.908 | 47 | 141.245 | 53 | 112.215 | 46 |
| Outros | 43.439 | 16 | 41.672 | 14 | 27.386 | 13 | 30.121 | 11 | 32.815 | 13 |
| Recauchutados | 10.846 | 4 | 16.074 | 6 | 10.687 | 5 | 10.680 | 4 | 4.827 | 2 |
| Usados | 1.061 | 1 | 672 | 0 | 962 | 1 | 1.157 | 0 | 1.534 | 1 |
| Total | 266.705 | 100 | 289.324 | 100 | 212.717 | 100 | 268.139 | 100 | 244.927 | 100 |

FONTE: Secex - OBS: Importações realizadas por força de liminares em mandados de segurança

TABELA 5.9 – IMPORTAÇÃO, em toneladas

| Tipo de pneu | 1997 | | 1998 | | 1999 | | 2000 | | 2001 | |
|------------------|----------------|------------|----------------|------------|----------------|------------|----------------|------------|----------------|------------|
| | ton. | % |
| Automóveis | 22.996 | 18 | 30.175 | 20 | 26.741 | 23 | 35.106 | 22 | 38.164 | 26 |
| Ônibus/Caminhões | 57.295 | 44 | 69.728 | 45 | 48.631 | 42 | 72.621 | 46 | 59.913 | 42 |
| Outros | 16.959 | 13 | 15.878 | 10 | 10.646 | 9 | 13.532 | 9 | 14.369 | 10 |
| Subtotal | 97.250 | | 115.781 | | 86.018 | | 121.259 | | 112.446 | |
| Recauchutados | 21.283 | 16 | 30.439 | 20 | 19.381 | 16 | 18.709 | 12 | 8.463 | 6 |
| Usados | 11.451 | 9 | 7.067 | 5 | 11.240 | 10 | 16.644 | 11 | 22.700 | 16 |
| Total | 129.985 | 100 | 153.286 | 100 | 116.640 | 100 | 156.612 | 100 | 143.609 | 100 |

FONTE: Secex

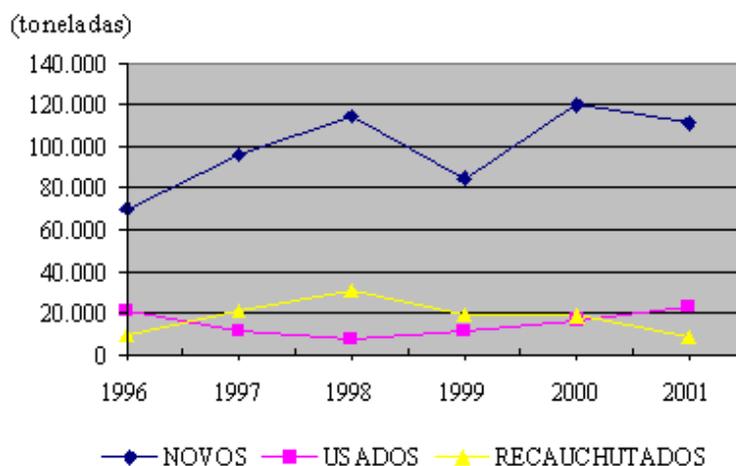


FIGURA 5.7 – Importação de Pneus Novos, Usados e Recauchutados

5.3.3 Exportação

Segundo os dados da Secex, a exportação cresceu 13% em valor no período de 1997-2000, e em termos de toneladas registrou um aumento de 27,5% em igual período. Em 2001, teve uma queda no valor com relação ao ano anterior de 11% e em termos de toneladas uma queda de 6% (TABELAS 5.10 e 5.11).

TABELA 5.10 – EXPORTAÇÃO, em milhares de dólares FOB

| Tipo de pneu | 1997 | | 1998 | | 1999 | | 2000 | | 2001 | |
|------------------|----------------|------------|----------------|------------|----------------|------------|----------------|------------|----------------|------------|
| | US\$ | % |
| Automóveis | 181.290 | 38 | 171.775 | 38 | 211.562 | 45 | 215.338 | 40 | 180.382 | 37 |
| Ônibus/Caminhões | 218.729 | 45 | 236.454 | 52 | 203.607 | 44 | 252.211 | 46 | 232.024 | 48 |
| Outros | 81.075 | 17 | 46.199 | 10 | 50.047 | 11 | 75.032 | 14 | 70.238 | 15 |
| Recauchutados | 22 | 0 | 0,15 | 0 | 80 | 0 | 44 | 0 | 4 | 0 |
| Usados | 2 | 0 | 4 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 19 | 0 |
| Total | 481.118 | 100 | 454.432 | 100 | 465.300 | 100 | 542.625 | 100 | 482.667 | 100 |

FONTE: Secex

TABELA 5.11 – EXPORTAÇÃO, em toneladas

| Tipo de pneu | 1997 | | 1998 | | 1999 | | 2000 | | 2001 | |
|------------------|----------------|------------|----------------|------------|----------------|------------|----------------|------------|----------------|------------|
| | ton. | % |
| Automóveis | 68.236 | 41 | 63.662 | 37 | 85.649 | 43 | 85.307 | 40 | 76.246 | 38 |
| Ônibus/Caminhões | 71.962 | 43 | 81.755 | 47 | 91.742 | 46 | 100.768 | 47 | 98.121 | 49 |
| Outros | 27.574 | 16 | 28.375 | 16 | 20.817 | 11 | 27.884 | 13 | 27.225 | 13 |
| Subtotal | 167.772 | | 173.792 | | 198.208 | | 213.959 | | 201.592 | |
| Recauchutados | 10 | 0 | 0 | 0 | 36 | 0 | 31 | 0 | 4 | 0 |
| Usados | 1 | 0 | 3 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 74 | 0 |
| Total | 167.782 | 100 | 173.795 | 100 | 198.246 | 100 | 213.990 | 100 | 201.670 | 100 |

FONTE: Secex

Segundo informações da ANIP (2000), o Brasil exporta pneus para mais de 100 países. Veja a FIGURA 5.8, o destino das exportações dos pneus brasileiros.

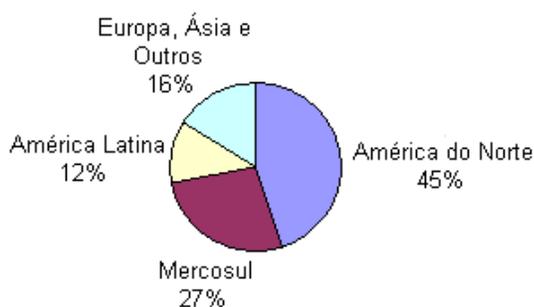


FIGURA 5.8 – Destino das exportações brasileiras de pneumáticos (FONTE: ANIP, 2000)

5.3.4 Desempenho do Setor de Pneumáticos (1997-2002).

O Brasil produziu em 2001, cerca de 49 milhões de pneus. Deste montante cerca de 16 milhões (33%) foram exportados e cerca de 33 milhões (67%) abasteceram o mercado interno (TABELA 5.12). A ANIP estima que em 2002 a produção seja de 45 milhões de pneus, com isto, a média

da produção de 1999 a 2002 (devido a associação da Michelin em 1999) é de cerca de 45 milhões de pneus ao ano.

TABELA 5.12 – Indústria Brasileira de Pneumáticos 2001 (em unidades)

| Categorias | Produção | Exportação | M. Interno* |
|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| Ônibus/Caminhões | 5.625.484 | 1.663.278 | 3.962.206 |
| Camionetas | 4.660.610 | 1.629.957 | 3.030.653 |
| Automóveis | 30.171.494 | 10.018.914 | 20.152.580 |
| Outros | 8.497.436 | 3.005.404 | 5.492.032 |
| Total | 48.955.024 | 16.317.553 | 32.637.471 |

FONTE: ANIP/ SINPEC – 2002

* Não considerado os pneus importados.

A partir dos dados de produção, vendas e exportação, fornecidos pela ANIP (TABELA 5.13), em número de unidades, chega-se à uma estimativa de unidades importadas pelo Brasil nos últimos cinco anos [$V = P + I - E$]. Pode-se observar também que o Brasil importa quase a mesma quantidade que exporta.

TABELA 5.13 – Desempenho do Setor de Pneumáticos (1997-2001)
(em unidades)

| | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 |
|------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Produção (P) | 39.913.920 | 37.857.540 | 41.285.107 | 43.532.681 | 48.955.024 |
| Vendas (V) | 39.560.273 | 38.834.364 | 43.440.831 | 43.440.831 | 48.438.598 |
| Exportação (E) | 12.620.128 | 12.543.753 | 15.278.034 | 15.278.034 | 16.317.553 |
| Importação * (I) | 12.266.481 | 13.520.577 | 17.433.758 | 15.186.184 | 15.801.127 |

FONTE: ANIP, 2002 – só inclui dados da Michelin a partir de 1999

* o número de unidades importadas foi calculada por $I = V - P + E$.

5.4 Geração dos pneumáticos inservíveis no Brasil

Desde 1936, início da fabricação de pneus no Brasil, já foram produzidos cerca de um bilhão de unidades, cujo descarte ocorreu, na maioria das vezes, de forma incorreta, por meio de incineração sem controle de emissão de gases ou pelo depósito em áreas livres, rios, etc. Para tornar a situação mais crítica no País, em 1990, foram importados 20 milhões de pneus usados para recauchutagem. Mas praticamente a metade foi vendida sem qualquer tipo de reciclagem e foi alimentar o estoque de pneus abandonados (MARIOTONI, 2001).

Tem-se atualmente, um padrão conhecido como linear insustentável que gera um consumo insustentável, e por consequência uma montanha de lixo. Para que este quadro mude, se faz

necessário que a indústria passe a operar como um modelo produtivo circular sustentável ou “ecosystem”, ou seja, o resíduo vira matéria-prima de outro produto em um ciclo constante.

Estimativas de pesquisadores apenas indicam que são gerados mais de 35 milhões de carcaças de pneus anualmente, contrariando o número da ANIP de 21 milhões. Quanto aos dados relativos à geração de pneus inservíveis, com base na frota de veículos automotivos, que em 2000, era de 35.727.635 veículos automotores nacionais e importados em circulação (GEIPOT, 2002), estima-se que cerca de 44 milhões sejam descartados anualmente (BERTOLLO e FERNANDES JR., 2002). A ausência de dados sobre o destino final de pneus inservíveis no Brasil não permite determinar com certeza o passivo ambiental, estima-se que mais de 100 milhões de pneus inservíveis estejam espalhados em todo País (ANIP, 2002).

Só o estado de São Paulo consome 45% dos pneus produzidos no Brasil e dos importados. Estima-se que sejam descartados 6 milhões de pneus anualmente, mas suspeita-se que este número esteja subestimado, em razão dos vários artifícios utilizados para disposição clandestina e da falta de recursos para a coibição de tal prática. Representa menos que 3% do resíduo sólido urbano (CEMPRE, 2000).

No Rio de Janeiro, os pneus e artefatos de borracha em geral correspondem a 0,5% do lixo urbano (CEMPRE, 2000).

No Paraná, com base na frota de veículos que é de 2,35 milhões de veículos, sendo que 66% são veículos de passeio, estima-se que 630 mil pneus sejam descartados por ano (COSTA et al., 2000).

Veja na FIGURA 5.9, um fluxograma do ciclo de vida do pneu automotivo desde a fabricação até seu destino final e as formas de utilização mais significativas.

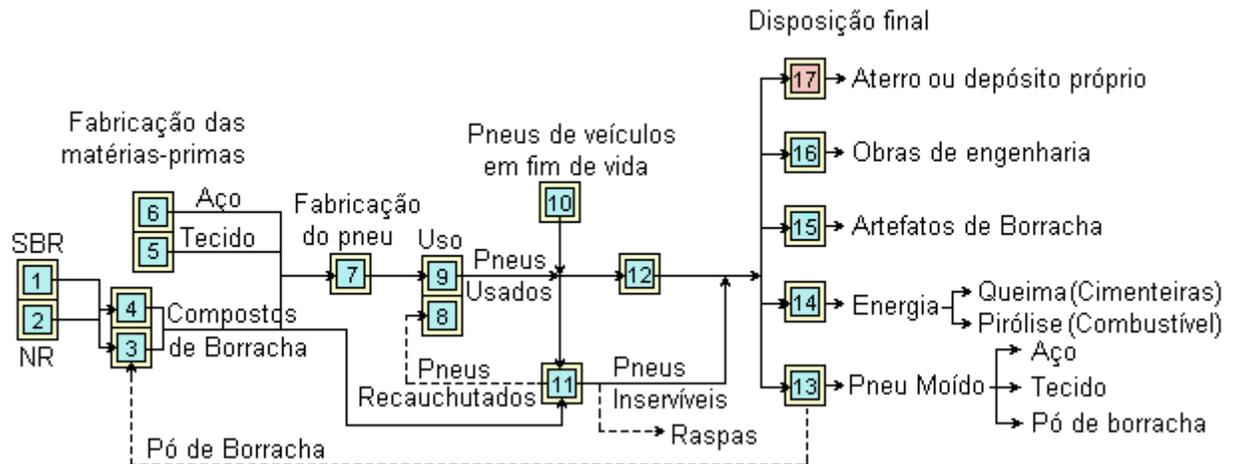


FIGURA 5.9 – Fluxograma do estudo de análise de ciclo de vida
(FONTE: Adaptado de FREIRE et al., 2000)

No fluxograma acima apresentado, as principais matérias-primas para a fabricação dos pneus são borrachas, tecidos e aço, representadas pelas atividades de 1 a 6. Aproximadamente 10% dos compostos de borracha poderá ser de borracha reciclada de pneus. Apesar da atividade de recauchutagem prolongar a vida útil dos pneus, representadas pelas atividades de 8 a 12, há limites no número de reformas, se tornando então inservíveis. As raspas de pneus proveniente da recauchutagem, podem ser utilizadas em diversas aplicações, inclusive na mistura com asfalto. Além das aplicações na engenharia civil, existem outras formas de utilização que podem consumir um volume significativo de pneus inservíveis, tais como: matéria-prima para novos produtos, energia (queima), produção de óleo e gás combustível (pirólise), aterros ou depósitos próprios que serão detalhados a seguir.

5.5 Disposição final dos pneus inservíveis no Brasil

Ainda não existe nenhuma monitorização do governo, nem do setor privado, sobre as formas de disposição final dos pneus usados, assim como não há levantamento dos depósitos de pneus abandonados em todo o país.

A maioria dos pneus inservíveis estão em depósitos temporários para posterior reutilização e reciclagem, ocupando grandes espaços. Os depósitos de pneus inservíveis são planejados com base nas informações sobre as vendas de pneus automotivos, considerando que o consumidor deixará os pneus inservíveis no ato da compra de um pneu novo. Os fabricantes, reformadores e

recicladores já possuem alguns depósitos de pneus em uso, localizados geralmente próximos às regiões metropolitanas, devido a facilidade de transporte.

Vários estabelecimentos consomem pneus usados de diversas maneiras. Sabe-se, porém, que os chamados “carcaceiros” recuperam mais de 21 milhões de pneus por ano, sob diversas formas. A recauchutagem, atinge 70% da frota de transporte de carga e passageiros (CEMPRE, 2000).

Estima-se que existam 500 mil pneus disponíveis para utilização como combustível, proporcionando economia de 12 mil toneladas de óleo e que 20% de sucata disponível para a obtenção de borracha regenerada são de fato recicladas (CEMPRE, 2000).

No Brasil, os pneus e câmaras de ar consomem cerca de 57% da produção nacional de borracha e sua reciclagem é capaz de devolver ao processo produtivo um insumo regenerado por menos da metade do custo da borracha natural ou sintética. Além disso, economizam energia, cerca de 75% a 80% da energia necessária para produzir a mesma quantidade de borracha virgem/nova; poupa petróleo usado como matéria-prima virgem e até melhora as propriedades de materiais feitos com borracha (CEMPRE, 2000).

5.5.1 Programa Nacional de Reciclagem

O Programa Brasileiro de Reciclagem do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio, MDIC (1999), sugere priorizar os seguintes programas para o gerenciamento de pneumáticos inservíveis, no âmbito federal:

- Estudos e equacionamento da reciclagem de pneus no Estado de São Paulo, e estendê-lo para outros estados;
- Apoio aos experimentos da indústria de cimento, para a produção de energia;
- Armazenamento planejado estratégico de pneus para reciclagem - recomendação feita pela ANIP;
- Análise de custo/benefício da importação de pneus usados;
- Equiparar o Brasil a outros países, onde são utilizadas melhores formas de reciclagem de pneus do mundo.

Para o gerenciamento do descarte são sugeridas as seguintes ações:

- Criação de centrais de armazenamento temporário pelos fabricantes e importadores até o destino final, ambientalmente adequado;
- Controle da quantidade descartada, e o mercado para seu aproveitamento;
- Impedir armazenamento ao ar livre (risco de promover criadouros de micro e macro vetores), queima ou descarte em rios ou lagos e ainda orientar o comércio e sucateiros;
- Definir mercado para reciclagem e transporte, se possível, compactada.

No Estado de São Paulo, onde se localiza 40% da frota nacional, a primeira providência é triturar as peças descartadas, como medida preventiva para evitar a disseminação de insetos transmissores de doenças que se proliferam em água acumulada em pneus (ANIP, 2002; CETESB, 2002).

No Rio Grande do Sul, apesar do grande número de veículos pesados que circulam na integração com o Mercosul, e o conseqüente desgaste de pneus, não existe nenhuma política específica para uma eventual reciclagem dos pneus inservíveis. Acredita-se que os processos de reciclagem existentes são artesanais e sem condições de absorver a enorme quantidade de pneus inservíveis que são abandonadas nas periferias da cidade, segundo informações da Fepama – Fundação de Proteção ao Meio Ambiente (2002).

Tecnologias desenvolvidas por universidades e empresas, para a disposição final dos pneus, estão disponíveis no mercado brasileiro através de empresas nacionais e estrangeiras. A viabilidade, técnica e econômica, dos processos que permitem o reaproveitamento de pneus está sendo alcançada através do desenvolvimento técnico-científico nos campos do conhecimento relacionados. A conscientização da sociedade quanto à importância da reciclagem de pneus tem levado ao surgimento de legislações ambientais específicas. A qualidade e as características do material recuperado através de diversos processos de reciclagem de pneus, permite sua aplicação em uma vasta gama de produtos de vários segmentos de atividade econômica.

Nesse cenário, oportunidades de empreendimentos relacionados à reciclagem e reutilização de pneus são potencialmente atraentes. Sobretudo nas atividades de redução de tamanho, desvulcanização e reutilização de pneus (ALMEIDA, 2002).

5.5.2 Ações da Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos - ANIP

A ANIP, sugere a implantação de um programa nacional, a ser desenvolvido até 2006, considerando a possibilidade de reciclagem desses inservíveis, cuja a maioria desses processos tecnológicos encontram-se em fase experimental. A primeira fase, com duração aproximada de dois anos, deverá ter a destinação de áreas públicas para o armazenamento dos pneus. Em uma segunda fase, deverão ser definidos processos tecnológicos convenientes para reciclagem de pneus. Com relação a segunda fase, fabricantes e exportadores de pneus (Pirelli, Firestone, Michelin e Goodyear), representados pela ANIP em convênio com a Faculdade de Engenharia Industrial – FEI, iniciaram pesquisas visando o desenvolvimento de projetos de reciclagem e campanhas educativas com a população.

Tendo em vista a necessidade de se cumprir à resolução n.º 258/99, do CONAMA, a preocupação agora é de se fazer o resgate dos pneus inservíveis. Para isso, a ANIP, representante dos fabricantes de pneus no país, está estruturando seu sistema de coleta e destruição dos produtos que colocam no mercado. Para incentivar a coleta e reciclagem, a ANIP programou campanhas de conscientização com a participação dos fabricantes e dos revendedores autorizados, instruindo o consumidor a deixar o pneu velho na loja quando adquirir o pneu novo.

Com base no estudo do ciclo de vida de utilização do pneu feito pela ANIP, do total de pneus de automóveis trocados em vendas autorizadas, 20% permanecem com os proprietários. Dos 80% restantes, 13% voltam para pontos de venda, 22% são reformados e 65% são descartados clandestinamente (FIGURA 5.10). Do total de pneus de carga, 80% são reformados, 10% são vendidos como usados e 10% não apresentam condições de reforma (FIGURA 5.11).

CICLO DE VIDA DOS PNEUS DE AUTOMÓVEL

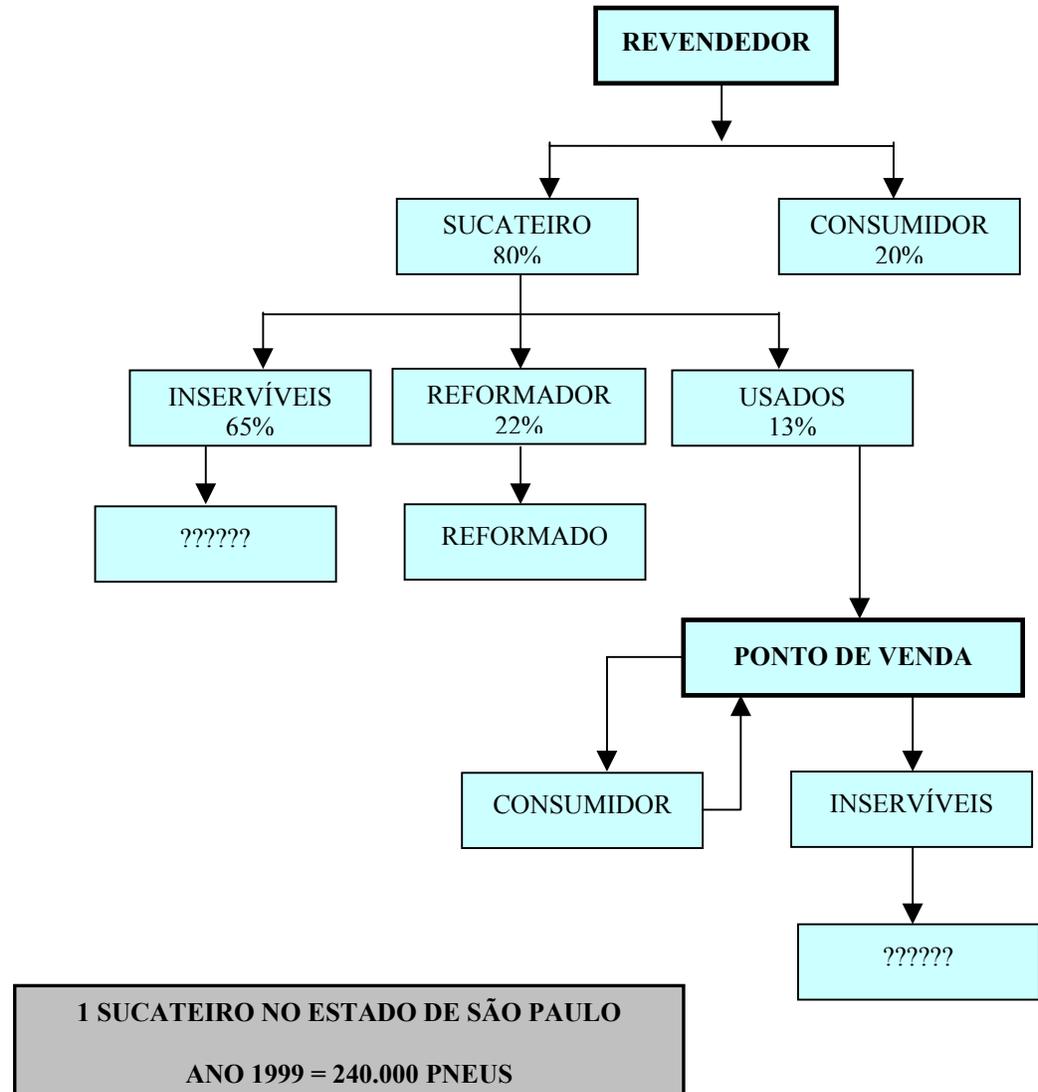
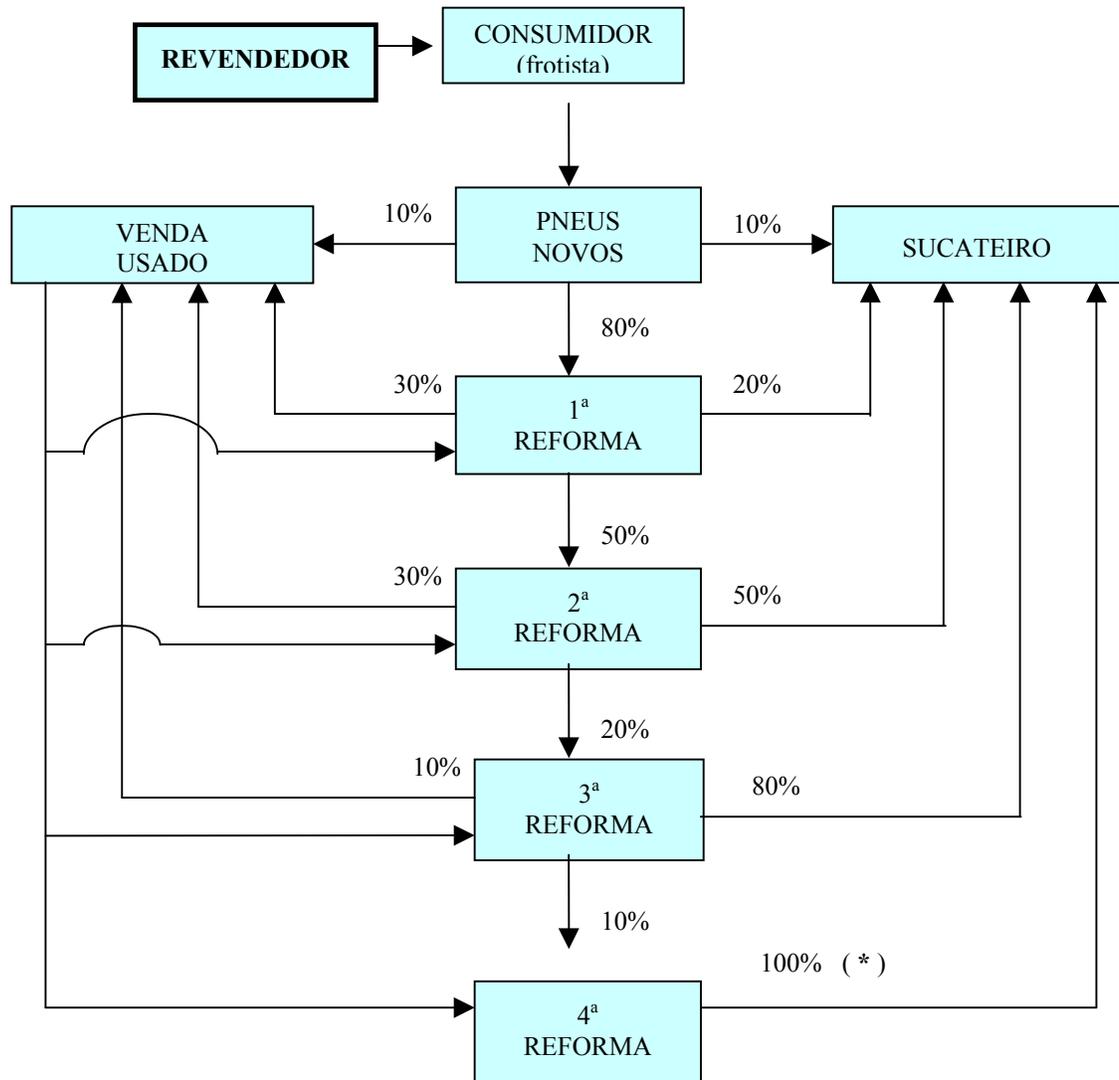


FIGURA 5.10 – Ciclo de vida dos pneus de automóveis
(FONTE: ANIP, jun/2000)

OBS.: Os pneus de veículo de passeio duram cerca de 50 mil km. Os fabricantes não recomendam mais de uma recauchutagem. Um pneu recauchutado custa 60% do preço de um pneu novo.

CICLO DE VIDA DOS PNEUS DE CARGA



(*) – Casos raros com mais de 4 reformas

FIGURA 5.11 – Ciclo de vida dos pneus de carga
(FONTE: ANIP, jun/2000)

OBS: É possível fazer, em geral, pelo menos 3 reformas. Um pneu de transporte reformado custa 1/3 do preço de um pneu novo e pode rodar na faixa de 120.000 a 140.000 km, enquanto que o novo não chega a 100.000 km.

Com base na resolução 258/99, do CONAMA, os fabricantes e importadores de pneus deverão dar destinação final adequada e comprovada aos pneus inservíveis existentes no território nacional, na proporção relativa às quantidades fabricadas e/ou importadas. Considerando uma produção média de 45 milhões de pneus por ano, tem-se as quantidades a serem atingidas de 2002 à 2005, na TABELA 5.14.

TABELA 5.14 - Metas para coleta e destruição de pneus, segundo a resolução 258/99, do CONAMA.

| ANO | Quantidade de pneus (em milhões) | % |
|------|-------------------------------------|-----|
| 2002 | 11,25 | 25 |
| 2003 | 22,50 | 50 |
| 2004 | 45,00 | 100 |
| 2005 | 56,25 | 125 |

O desenvolvimento de um sistema de coleta de pneus inservíveis, juntamente com um trabalho de educação ambiental da população, podem colaborar na minimização dos pneus que estão dispostos ilegalmente.

5.5.2.1 Sistema de coleta e destruição dos pneus inservíveis - ANIP

Para atender a resolução, a ANIP está estruturando um sistema de coleta e destruição para os produtos que colocam no mercado. A ANIP tem nove projetos para cumprir esta meta, incluindo poderosas máquinas de picotar pneu, tanto de carro quanto de caminhão. A iniciativa deu origem a grandes centros de coleta e picotagem, construídos por meio de parcerias entre os fabricantes nacionais e usuários da matéria-prima reciclada, tais como as usinas de cimento e produtores de asfalto modificado. Três centros já estão em operação nas cidades de Jundiaí e Sorocaba, no interior de São Paulo; e em João Pessoa-PB, fornecendo borracha picotada para o uso em fornos de cimento em substituição ao carvão ou ao óleo combustível. Outra unidade, instalada no Vale do Paraíba (SP), atende ao segmento de asfalto modificado. Cada centro tem capacidade para processar 30 milhões de pneus/ano (TABELA 5.15). O projeto da ANIP prevê a partir de 2003, a instalação de mais cinco centros de coleta e picotagem em locais estratégicos do País, dentre eles Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná e Minas Gerais. Os pneus triturados terão os seguintes destinos: a usina de produção de pó de borracha (que será exportado) e artefatos, em Itabirito (MG), Santa Catarina e Rio Grande do Sul; para alimentar fornos de cimenteiras no Nordeste e no Rio de Janeiro (RJ); para uso na construção civil em pisos, isolamentos térmicos

ou acústicos e misturas asfálticas; para servir de matéria-prima na fabricação de tapetes de automóvel, artefatos de borracha, entre outros; e para gerar gás combustível na usina de xisto da Petrobrás em São Mateus do Sul (PR). Serão adotados processos de reciclagem conhecidos ou novos, com aplicações variadas e tecnologias limpas, atendendo às normas ambientais (ANIP, 2002).

TABELA 5.15 – Centro de Picotagem da ANIP

| Centros de Picotagem | Capacidade de Processamento (pneu/ano) |
|-----------------------------|---|
| Sorocaba (SP) | 4 x 30 milhões |
| Jundiaí (SP) | |
| João Pessoa (PB) | |
| Vale do Paraíba (SP) | |

FONTE: ANIP, 2002

A maior parte dos pneus processados no país hoje está em depósitos de indústrias ou são oriundos de lixões à céu aberto em diversos municípios. Algumas prefeituras, preocupadas em conter o avanço da dengue, já instalaram “ecopontos” para o recebimento de pneus. No entanto, com o aumento das metas de destinação, a ANIP já antecipa a dificuldade em se coletar os pneus. Nos grandes centros já é um hábito incorporado pelo consumidor a troca do pneu velho na compra pelo pneu novo. Entretanto, à medida que se entra pelo interior do país, a dificuldade em coletar os pneus aumenta. O centro de picotagem de João Pessoa, por exemplo, trabalha com ociosidade porque falta pneu, segundo a ANIP. No Nordeste o pneu ainda é usado como matéria-prima para diversas aplicações como solados de sapatos e armações de estofados.

5.5.3 Programa “Rodando Limpo”

O programa “RODANDO LIMPO”, é uma parceria firmada entre o poder público, empresas e comunidade, na coleta e destruição dos pneus inservíveis, para a produção de óleo e gás combustível. É um programa completo, que envolve desde a coleta até a destinação final dos pneus inservíveis. Inicialmente lançado em Curitiba, em novembro de 2001 e depois em Cascavel, Foz do Iguaçu e Londrina, no Estado do Paraná e Joinville, no Estado de Santa Catarina. No início de outubro de 2002, o programa já havia destruído mais de 2,6 milhões de pneus inservíveis que foram coletados, picados e transportados até a Usina de Xisto da Petrobrás (Petrosix), em São Mateus do Sul (PR), para a transformação de óleo e gás combustível.

O Programa “Rodando Limpo”, adotado por algumas prefeituras brasileiras promove a limpeza de terrenos baldios, dos fundos de vales e das favelas urbanas. O programa paga R\$0,20 por pneu usado de carros de passeio e R\$0,35 por pneu de veículo utilitário, entregues limpos e secos, incentivando à participação popular, favorecendo as pessoas de menor renda e carentes, produzindo riquezas, evitando doenças e poupando recursos naturais.

5.5.4 Aplicações Nacionais: Empresas recicladoras e prefeituras (obras públicas)

Algumas empresas já estão trabalhando no sentido de transformar o que sempre foi rejeitado em fonte de renda, bem antes da legislação brasileira entrar em vigor. Em termos de Brasil, o Estado do Paraná se destaca no cenário nacional de reciclagem de pneus, principalmente por estar localizado num ponto estratégico. Segundo a Associação dos Recauchutadores de Pneus do Estado do Paraná, pelas suas estradas circulam um grande volume de caminhões que transportam cargas, que serão distribuídas para o restante do país. Por essas circunstâncias criou-se um pólo de pneus, especialmente em Curitiba, onde, por consequência, concentrou-se a maior parte das empresas recauchutadoras de pneus do país. A recauchutagem representa um importante papel na minimização dos resíduos e na proteção ao meio ambiente e, necessita de mais incentivos, tanto por parte do governo, através de legislações competentes e linhas de créditos específica, quanto por parte da sociedade em geral, que ainda não está conscientizada sobre a qualidade e a importância de se utilizar produtos recauchutados.

A BS Colway Pneus, situada em Piraquara (PR), começou a funcionar em setembro de 2000, com capacidade para produzir 25 mil pneus/mês remoldados. Em quatro anos, a capacidade de produção será de 250 mil pneus/mês e terá condições de atender até 40% da demanda brasileira de pneus remoldados. A empresa é responsável também pela trituração e transporte até a Usina de Xisto de São Mateus do Sul/PR, dos pneus recolhidos pelo programa “Rodando Limpo”.

As indústrias de reciclagem que utilizam o material proveniente do processo de recauchutagem para a confecção de novos produtos também exercem um papel importante neste contexto. A Ecija Comercial Exportadora e Importadora de Manufaturados Ltda., empresa pioneira na reciclagem de pneus descartados, em Curitiba (PR), tornou-se fornecedora da Wredestein – Rubber Resources, empresa holandesa especializada na reciclagem de pneus. Ela exporta cerca de 1,2 toneladas de raspas de pneus provenientes do processo de recauchutagem e outras 1,2

toneladas de câmaras de ar velhas por ano, manipula cerca de 5 mil toneladas de resíduos por ano. Este material, no exterior, é utilizado para os mais variados fins, dependendo do seu grau de elasticidade, resistência exigido pelo produto e à pureza da borracha reciclada. Segundo a Ecija, o material proveniente da reciclagem dos pneus existe em abundância, assim como há também um grande mercado consumidor para esses produtos. No entanto, é um processo pouco conhecido e divulgado. Essa é uma das razões que leva a empresa, a exportar sua produção. Em termos internacionais, a reciclagem do pneu tem um potencial impressionante. É uma questão levada muito a sério pelos empresários estrangeiros. Os maiores problemas do setor, são os custos de coleta dos materiais e a falta de incentivo.

A Borcol, Indústria de Borracha (Sorocaba-SP), um dos maiores consumidores de sucata de pneus no Brasil, reutiliza pneus velhos e novos que não passaram no controle de qualidade das indústrias para produzir desde tapetes automotivos até paletes. Transforma cerca de 5,5 milhões de carcaças por ano em 8,4 milhões de peças, entre capachos, tapetes para banheiros e automóveis, piso antiderrapante e paletes emborrachados (FARRO, 1997). Toda a borracha utilizada na fabricação de seus produtos é proveniente da linha de desvulcanização da própria fábrica. A fábrica tem capacidade instalada de 1200 toneladas por mês. Atualmente, opera com 900 toneladas por mês e tem um estoque de 50 mil toneladas de pneus para 3 anos de operação. Apesar de ter uma linha com moinhos de rolos capaz de processar pneus inteiros, atualmente a empresa processa somente material proveniente de pneus já moídos por outras empresas.

A tecnologia de reciclagem de pneus desenvolvida pela Petrobrás por meio da Unidade de Negócio da Industrialização do Xisto - Petrosix, em São Mateus do Sul (PR), incorpora no processo de extração de xisto betuminoso, pneus moídos que garantem menor viscosidade ao mineral e uma otimização do processo. Para implantar a reciclagem de pneus, a Petrobrás investiu cerca de 200 mil a R\$300 mil. Em 2002, cerca de 5 milhões de pneus serão reciclados. Em 2003, deverá investir mais R\$1 milhão, para atingir a capacidade de reciclagem de 27 milhões de pneus. No co-processamento de pneus de xisto, são misturados na proporção de 50 quilos de borracha para 950 quilos de rocha de xisto betuminoso e transformados (por pirólise) em óleo mineral, gás natural e outros derivados extraídos do xisto, resultando num aumento de 11,8% na produtividade da usina e assim completando o ciclo da reciclagem. A incorporação de borracha aumenta a eficiência do processo, preserva as reservas de xisto e não é prejudicial ao meio ambiente. O carbono, o aço e o tecido gerados como resíduos do processo são descartados na própria jazida de xisto. A borracha é aquecida a 500°C,

liberando óleo, gás e enxofre. Os produtos energéticos são extraídos também durante o resfriamento. Cada tonelada de pneu gera 532 quilos de óleo, 44 quilos de gás, 314 quilos de negro de fumo e 110 quilos de aço. Atualmente, a Petrosix processa, diariamente, 7,8 mil toneladas de xisto, que geram 480 toneladas de óleo combustível, 90 toneladas de nafta industrial, 45 toneladas de gás de cozinha (GLP), 120 toneladas de gás combustível e 75 toneladas de enxofre.

A empresa Midas Elastômero, do grupo Vibrapar, em Itupeva (São Paulo), investiu cerca de R\$15 milhões em 2001. O processo envolve várias etapas, e consiste em cortar os pneus, pressionar o material em moinhos, promovendo a separação da borracha, do aço e do náilon, e a desvulcanização da borracha em processo de alta pressão e temperatura, que irá resultar em produto final na forma de pó. Com uma capacidade inicial de reciclagem de 5 a 6 milhões de pneus por ano. A capacidade total de produção deverá ser alcançada ao longo dos próximos dois anos, atingindo 1.700 pneus por hora (90 toneladas por dia). A estimativa é que a unidade produzirá 20.000 toneladas de borracha regenerada por ano, que serão comercializadas nas usinas de produção de asfalto e nas indústrias de artefatos de borracha e solados. O aço será destinado à indústria siderúrgica e o náilon ao segmento têxtil. Uma das maiores dificuldades encontradas é a logística de transporte. Portanto, a unidade da Midas, pretende atender apenas a região de Campinas, Jundiaí e Sorocaba. Além das indústrias e importadores, a empresa terá uma fonte de suprimento importante, os aterros sanitários municipais. A empresa cobra R\$0,20 por quilo de qualquer pneu entregue. O custo médio da reciclagem é de R\$0,25 por quilo, cerca de R\$1,00 por pneu. A tonelada de borracha regenerada poderá ser comercializada entre US\$200,00 e US\$1.100,00, dependendo da granulação desejada pelo cliente. O mesmo volume de material virgem custa até US\$2.000. A borracha pode ser utilizada na fabricação de diversos tipos de artefatos, de tapetes e pisos esportivos a isolantes térmicos. Poderá substituir 30% do material virgem – a borracha SBR, no Brasil, produzida pela Petroflex.

Outra empresa que pretende iniciar o trabalho de reciclagem é a Usina Trituradora Ecológica de Pneus (UTEP), que investiu em instalações e em equipamentos, cerca de R\$12 milhões. O investimento é alto pois a maior parte do equipamento é importado. Segundo a UTEP, São Paulo vai precisar de dez usinas com capacidade para triturar duas toneladas de pneus por hora para conseguir destruir todo o material.

Atualmente, a ANIP conta com quatro indústrias de cimento (TABELA 5.16) para fazer o co-processamento dos pneus inservíveis, tais como: Campo Formos (BA) e Cajati (SP), com capacidade de 800 a 900 toneladas de pneus por mês e dois fornos em Goiás, com capacidade de 1000 toneladas por mês, do grupo CIMPOR; em Pedro Leopoldo (MG), com capacidade de 1000 toneladas por mês, do grupo HOLCIM; em Cantagalo (RJ), com capacidade de 500 toneladas por mês, do grupo LAFARGE e em Rio Branco (PR), com capacidade de 500 toneladas por mês, do grupo VOTORANTIN.

TABELA 5.16 – Capacidade de co-processamento das indústrias cimenteiras.

| Grupo | Local | Capacidade (t/mês) |
|--------------|------------------------|--------------------|
| CIMPOR * | Campo Formoso (BA) | 800 - 900 |
| | Cajati (SP) | 800 - 900 |
| | Goiás | 1000 |
| HOLCIM | Pedro Leopoldo (MG) ** | 1000 |
| LAFARGE *** | Cantagalo (RJ) | 500 |
| VOTORANTIN | Rio Branco (PR) | 500 |
| Total | | 4600 - 4800 |

FONTE: ANIP, 2002

* Outras três fábricas do grupo fecharam acordo com a ANIP: do Rio Grande do Sul, Alagoas e Paraíba.

** A única no momento que processa pneus inteiros.

*** A Arcos (MG) está se adaptando para receber pneus inteiros.

Veja no Quadro 5.2 um resumo do potencial de utilização, das empresas mais representativas no mercado atual, para o consumo de pneus inservíveis no Brasil, podendo absorver 135 mil t/ano a 146 mil t/ano (19,5 milhões a 20,5 milhões de pneus/ano).

QUADRO 5.2 – Resumo do potencial de utilização das principais empresas que beneficiam/consomem pneus inservíveis.

| EMPRESAS | CA=CAPACIDADE ATUAL | CI=CAPACIDADE DE INSTALAÇÃO | PRODUTOS |
|---|---|---|--------------------------------------|
| BORCOL (Sorocaba/SP) | 900 t/mês 10.800 t/ano 1,5 milhões de pneus/ano | 1200 t/mês | Tapetes à peletes |
| MIDAS ELASTÔMEROS (Itupeva/SP) | 90 t/dia 35 mil a 42 mil t/ano 5 a 6 milhões de pneus/ano | 400 t/dia | Borracha regenerada, Aço e Náilon |
| PETROSIX (São Mateus do Sul/PR) | 35 mil t/ano 5 milhões de pneus/ano | 27 milhões pneus/ano (140 mil t/ano) | Óleo, Gás e Enxofre |
| INDÚSTRIAS CIMENTEIRAS | 4,6 a 4,8 mil t/mês 55 a 58 mil t/ano 8 milhões de pneus/ano | crescente | Cimento |
| TOTAL | 135 a 146 mil t/ano 19,5 milhões a 20,5 milhões de pneus/ano | | |

* Considerou-se que 1 pneu inservível pesa cerca de 7kg para efeito de cálculo.

A empresa Cimentos Portugueses (CIMPOR), será responsável pela picotagem e destruição de 35% da quota de pneus dos fabricantes para esse ano.

No Brasil, existem 1250 indústrias de artefatos de borracha, sendo 950 indústrias em São Paulo, representadas pela ABIARB (Associação Brasileira da Indústria de Artefatos de Borracha) e SINDIBOR (Sindicato da Indústria de Artefatos de Borracha de São Paulo), incluindo indústrias de micro, pequeno, médio e grande porte.

Na região norte do Paraná, a reciclagem dos pneus inservíveis limita-se, quase que exclusivamente, aos pneus convencionais dos veículos de carga e transporte, feita pelas laminadoras para produzirem solados e saltos de botas, rodinhas para carrinhos de mão, borracha para rodinhos, percintas para fabricação de móveis estofados e outros produtos em menor escala. Dos pneus radiais dos veículos de carga e transporte, aproveitam-se os aros para a confecção de tubos, úteis na drenagem pluvial das áreas rurais e as bandas de rodagem, que são revendidas a recuperadoras de pneus que utilizam a técnica de perucagem. Parte dos pneus usados são, eventualmente, transportados para outros estados para serem queimados na produção de energia em indústrias de calcário ou para a recuperação da borracha feita por uma indústria paulista.

No município de Mandaguari-PR, fabrica-se tapetes, peças automotivas e solas de sapato, através do reaproveitamento dos resíduos do pó de borracha, resultante da raspagem dos pneus nas recauchutadoras (Costa, J.T., et al.) e de descartes das indústrias de pneus que não passaram no controle de qualidade. A indústria de artefatos de borracha regenerada – Irmãos Boff, recebe em torno de 35 toneladas por semana de bexiga (pneus com lona). Produzem 12.000 pares/dia de solado de sapato, 1.000 peças automotivas/dia, 5.000 quilos/dia de pó de borracha e 5.000 quilos/dia de borracha regenerada. O pó de borracha recuperada é vendido à R\$0,45 o quilo e a borracha regenerada à R\$0,65 o quilo.

A Secretaria de Serviços Urbanos - SESUR, do governo municipal de Cascavel-PR, está aplicando uma nova tecnologia para a construção de tubulação subterrânea. Trata-se da utilização de manilhas feitas com partes de pneus velhos, que são retirados do autódromo municipal e de outros locais da cidade, no lugar dos tradicionais tubos de concreto, para a destinação de lixo urbano. Segundo a SESUR, o procedimento é extremamente simples: Somente o aro do pneu é reaproveitado. É retirada a parte que fica em contato com a roda do veículo. A borracha reveste uma cinta de aço, o que torna o material bastante resistente. Os aros são encaixados no outro, formando o cilindro, que posteriormente é coberto com a terra. A

economia com o novo sistema pode chegar a 50%, sendo que o material demora cerca de 1.000 anos para se decompor. O primeiro projeto com a nova tecnologia foi desenvolvido no bairro São Cristóvão, onde foram construídos 1.040 metros lineares de tubulação. Um novo projeto, bem maior do que o primeiro, já está sendo concluído para a colocação de um novo trecho no Jardim Gramado. Somente no aterro sanitário de Cascavel existiam cerca de 200 mil pneus. Outros cerca de 100 mil estão sendo retirados do Autódromo Internacional de Cascavel. Uma parte deste volume, cerca de 4 mil pneus, está sendo reciclada, pela empresa de reciclagem BS Colway Pneus, de Piraquara, região metropolitana de Curitiba (FITMA, 2002).

Em Porto Alegre, a Stil Plac produz pisos ortopédicos e rampas para acesso de deficientes às calçadas. As rampas são fabricadas com grânulos de borracha misturados a uma substância aglutinante e moldada a frio. A empresa Borrachas Planalto Ltda. também recicla borracha de pneus. Outras empresas que também reciclam pneus usados utilizam o processo de laminação. Essas empresas produzem uma diversidade de produtos como tiras para estofados, solados e saltos para calçados, tubos para canalização de esgotos, tiras de borracha para fabricação de rodos, calços para diversas aplicações etc. (STILFLEX).

A Relastomer S.A. desenvolveu vários processos para regeneração de borrachas vulcanizadas. Existe a possibilidade de instalação de plantas utilizando esses processos, no Estado do Paraná, para atender às necessidades de importadores de pneus. A empresa desenvolveu um processo cuja característica básica é a recuperação de borrachas vulcanizadas e semi-vulcanizadas utilizando baixa temperatura (máximo 80°C), o que permite executar este processamento na fase líquida (fazendo a separação da borracha e do aço por filtragem e magnetismo), usando um catalisador heterogêneo. O produto regenerado (borracha em pó) apresenta alta homogeneidade, mantendo 75% das características físicas da composição original (DESTAQUE, 1999).

Em São Luís, no Maranhão, a prefeitura construiu uma parede de pneus usados para proteção de encostas, no bairro Coroadinho. Foram utilizados 30 mil unidades de pneus na construção de uma parede de 75 metros de comprimento e 7 metros de altura. Essa solução é pesquisada pelo Prof. Dr. Luciano V. de Medeiros, na Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro/ PUC-Rio.

Em Joinville (SC), um muro de arrimo com pneus foi construído no pátio da Escola Municipal Júlio Machado da Luz, estrada Jativoca, para conter a erosão causada pelos constantes transbordamentos do rio que passa ao lado do pátio da escola. A técnica aplicada foi a

Canadense, já empregada com sucesso em encostas da favela no Rio de Janeiro. A diferença é que a técnica foi empregada em terreno úmido e para realização da obra, os técnicos precisaram escavar a fundação do muro e preencher os pneus com materiais drenantes. As paredes foram erguidas segundo um projeto de escalonamento e foram protegidas das águas do rio com um enrocamento de pedras construído no local. O projeto é uma parceria entre a Fundação Municipal do Meio Ambiente (Fundema), Secretaria de Infra-estrutura Urbana de Joinville (Seinfra), Secretaria de Educação e Regional Nova Brasília. Cerca de 9 mil pneus foram empregados na execução do muro de 30 metros de comprimento por 4 metros de altura e 3,5 metros de largura na base. Segundo a Fundema, além de diminuir o volume do material no aterro sanitário, o método diminuiu em 40% o valor da obra que custaria mais de R\$50 mil.

No município de Santa Cruz do Sul, Estado do Rio Grande do Sul, o material proveniente da recapagem de pneus é usado na mistura com cimento e areia para fabricação de placas pré-moldadas na construção de habitação popular, de 40 m², construída em regime de mutirão. A nova técnica, criada pelo engenheiro Leandro Kroth, recebeu o nome de Projeto Bom Plac de Moradia Popular, tem um custo de R\$3.700,00, contra R\$10.500,00 pelo sistema convencional, e pode ser executado em 8 dias. A borracha de pneus corresponde a até 50%, em peso, das placas. O projeto é desenvolvido em parceria com instituições de pesquisa locais. A prefeitura municipal de Natal, do estado do Rio Grande do Norte e algumas prefeituras do interior de Minas Gerais estão interessadas na adoção desta técnica (TURCATO, M. - Folha do Meio Ambiente – Ano 12 – Edição 118 – Brasília/DF, agosto de 2001).

A Prefeitura de Porto Feliz, na região de Sorocaba, inovou na construção de obras públicas em substituição ao concreto armado para a erguer as paredes da canalização do córrego Pinheirinho, no centro, ela adotou o pneu velho de carro. Vinte mil unidades dos mais variados modelos serão assentadas em pilhas que serão amarradas com arame e recheadas de cimento. A idéia surgiu de uma experiência desenvolvida pela Prefeitura de Indaiatuba na construção do aterro sanitário local, que também recebeu camadas de pneus na estrutura do muro de arrimo do entorno. A vantagem principal da substituição é o preço, que baixou de R\$800,00 por metro quadrado para apenas R\$90,00 - economia de 88,7% no custo final da obra. Mas o resultado que o diretor mais comemora é o alívio para o meio ambiente, já que o pneu utilizado era descarte e seria depositado na natureza como mais um foco de poluição (Gazeta Mercantil do Planalto Paulista, 23/10/2001).

A COPASA, Companhia de Água e Saneamento do Estado de Minas Gerais, no município de Turmalina, no Vale do Jequitinhonha, construiu uma barragem, no Ribeirão Santo Antônio, utilizando pneus no lugar de estruturas de concreto. Os pneus inservíveis são dispostos em camadas ou intercalados em determinados espaçamentos, formando colunas que são preenchidas com outros materiais, como cimento, pedras e entulho grosso. Este tipo de sistema funciona como elemento estrutural, na recuperação de grandes áreas degradadas, formando pequenas barreiras. Comparado com projetos que utilizam gabião-caixa, este sistema apresenta uma vantagem em termos de custo, pois o sistema convencional custa R\$115,00 o metro cúbico e o sistema proposto custa R\$30,00 o metro cúbico. Este projeto em fase de estudos, não gerou, ainda, conclusões a respeito da estrutura.

No Nordeste, uma cerca foi construída com aproximadamente 7.900 pneus pelo Sr. Humberto Gonçalves Medeiros para cercar sua criação.

A utilização de pneus triturados em obras de pavimentação no Brasil já é realidade em algumas cidades. Na cidade de Santos (SP), raspas de pneus provenientes do processo de recauchutagem são incorporadas (**processo seco**) nas misturas asfálticas utilizadas nas atividades de reabilitação e construção de pavimentos. Alguns trechos experimentais têm apresentado excelente desempenho enquanto outros apresentam problemas de desagregação, o que evidencia a necessidade de pesquisas sobre a utilização de borracha reciclada de pneus em obras de pavimentação asfáltica no Brasil. Dois trechos foram empregados o asfalto-borracha (**processo úmido**), entre os municípios de Guaíra e Camaquã (RG) e Pirai do Sul e Ventania (PR).

Vários outros empreendimentos e formas de reutilização podem ser encontrados espalhados pelo país.

5.5.5 Pesquisa e desenvolvimento

Foram identificados vários grupos de pesquisa em universidades e centros de pesquisas brasileiros. Basicamente 6 linhas de pesquisas envolvem o aproveitamento de pneus usados, tais como: incorporação de borracha em compósitos de cimento, incorporação em asfalto, geotecnia, pirólise e combustão de pneus inservíveis.

- SEGRE (1999), da IQ-UNICAMP, estudou a reutilização de borracha de pneus usados com adição em pasta de cimento;

- MEDEIROS, et al. (1997) e (1999), da PUC-Rio/Departamento de Engenharia Civil, estudam o uso de pneus em muros de contenção e reforço de solos. O grupo tem parceria com a Universidade de Ottawa-Canadá e com a GEORIO;
- SALINI (2000), da UFSC, estudou a incorporação de borracha reciclada de pneus em misturas asfálticas (processo seco);
- ODA (2000), da EESC-USP/Departamento de Transportes, estudou a incorporação de borracha ao ligante asfáltico (processo úmido) e BERTOLLO (2002), estuda a substituição parcial dos agregados pétreos (processo seco) em uma mistura asfáltica por borracha. O grupo tem parceria com a Prefeitura de Santos/SP, onde realiza pavimentações experimentais;
- GOULART (1999), estudou a reciclagem energética de pneus automotivos através de reator de leito fluidizado;
- CALLAÇO (2001), estudou o uso de pneu picado como meio suporte de leitos cultivados para o tratamento de esgoto sanitário.

Pesquisas em andamento tais como:

- os estudos sobre a pirólise e combustão de pneus inservíveis iniciados em 1999, é tema da tese de doutoramento do engenheiro Jefferson Caponero, na Escola Politécnica da USP/Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais;
- a incorporação de pó de borracha em compósitos de sisal e pavimentos de concreto, na IQ-UNICAMP;
- incorporação de raspas de pneus, provenientes do processo de recauchutagem de pneus, como parte do agregado miúdo, na execução do contra-piso do protótipo “Unidade Conhecimento”, do CEFET em Curitiba/PR;
- a incorporação de borracha de pneus em materiais de construção, no Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal da Paraíba e,
- incorporação de borracha de pneus em PVC flexível, na SOCIESC em Santa Catarina.

Além desses grupos de pesquisa, outros pesquisadores têm publicado artigos relacionados à questão da disposição final de pneus inservíveis. Entretanto, não foi possível levantar informação suficiente sobre suas atividades de pesquisa.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Por análise comparativa dos resultados, estabeleceu-se a discussão do tema, baseado nas legislações vigentes e nas diversas tecnologias adotadas por diversos países, especialmente na área da construção civil, a fim de mitigar os impactos ambientais e problemas com a saúde pública, causados pelo descarte inadequado.

6.1 Quanto às legislações referentes à pneumáticos

Dentre as legislações ambientais levantadas, a americana é a mais abrangente, pois estabelecem elevadas multas, inclusive a prisão dos infratores no caso da Califórnia. No Brasil, não existe referência quanto a multas na legislação específica sobre pneus, mas os infratores poderão ser punidos com base na “Lei de Crimes Ambientais”, pelo IBAMA.

Quanto a disposição de pneus em aterros sanitários, a maioria dos estados americanos permitem a disposição de pneus triturados, mediante o pagamento de taxas elevadas. Nos estados membros da União Européia, a disposição de pneus inteiros em aterros sanitários será proibida em 2003 e, a partir de 2006, pneus de qualquer forma. No Brasil, é proibido qualquer forma de disposição em aterro sanitário, exceto no Estado de São Paulo, que permite a disposição de pneus triturados, devido ao surto da dengue. No Estado do Paraná, a legislação permite o descarte no solo ou no subsolo, somente em caráter excepcional.

Para alguns países o pneu recauchutado é considerado novo, mas para a legislação brasileira pneus reformados são definidos como bens usados e sua importação é proibida em termos de política pública ambiental. Apesar da proibição da importação dos pneus usados e recauchutados, elas continuam sendo realizadas, amparadas em concessões de liminares e mandados de segurança. A exportação destes, só beneficia o país que exporta, pois é o meio mais econômico para se livrar do passivo ambiental.

A queima à céu aberto é proibida em vários países, inclusive no Brasil, exceto se destinado a geração de energia.

No Brasil, a lei obriga os fabricantes e importadores de pneus a compensar a produção e a importação dos mesmos com a destruição de grande quantidade de pneus inservíveis. Com base na Resolução 258/99, do CONAMA, os fabricantes e importadores de pneus deverão dar destinação final adequada e comprovada a cerca de 11 milhões de pneus inservíveis até o final do ano de 2002, progressivamente até 2005, onde cerca de 56 milhões de pneus devem ser eliminados. Os fabricantes e importadores de pneus são responsáveis pelo ônus da coleta, trituração e transporte dos resíduos de pneus. As importadoras de veículos ainda não adotaram a coleta, e questionam se, legalmente, estariam sujeitas à esta resolução, alegando que não fabricam nem os veículos e nem os pneus.

Não existe lei, no Brasil, que obrigue os municípios a utilizar uma porcentagem mínima de pneus inservíveis, mas muitos países têm desenvolvido legislação para direcionar seus departamentos de estradas de rodagem a investigar a possibilidade de utilização de materiais recicláveis em obras de pavimentação. A lei americana estabelece a utilização de um percentual mínimo de 20% de borracha reciclada em misturas asfálticas e prevê punições aos Estados que não obedecem.

A legislação estadual americana prevê incentivos para o desenvolvimento de novas alternativas de uso. Existe um fundo monetário de desenvolvimento que fornece o reembolso parcial aos processadores de resíduos de pneus. No Brasil, a Política Nacional de Resíduos Sólidos prevê a criação de um Fundo Federal a ser aplicado em programas e planos relacionados ao gerenciamento de resíduos sólidos e de recuperação de áreas degradadas e, o Programa Brasileiro de Reciclagem prevê apoio apenas para a geração de energia. Esses investimentos, certamente, onera menos os cofres públicos, do que o custo de reversão de impactos ambientais.

Nos Estados americanos existem parcerias entre o poder público e a comunidade, que participa de forma voluntária, entregando pneus inservíveis em depósitos em troca de bônus. No Brasil, existem parcerias firmadas entre o poder público, empresas e comunidade, na coleta e destruição dos pneus inservíveis em algumas cidades, mas, a coleta desses inservíveis é de responsabilidade de fabricantes, importadores, distribuidores e pontos de venda.

Embora se perceba que a maior parte dos envolvidos está consciente de que algo deve ser feito para solucionar o grave e crescente problema ambiental, está explícita a oposição de uns setores e conflitos de interesses em outros.

6.2 Quanto as alternativas tecnológicas existentes

Verificou-se a existência de uma área bem ampla e diversificada de usos e tecnologias já implantadas e em fase experimental, tanto no Brasil, quanto em outros países, visando a minimização dos pneus inservíveis, através da ampliação do ciclo de vida útil dos pneus, recuperação dos materiais componentes, redução da demanda de espaços nos aterros, minimização dos impactos ambientais e preservação dos recursos naturais, através dos “três erres” (redução, reutilização e reciclagem).

A ampliação da vida útil de um pneu e o aprimoramento das técnicas de recauchutagem, que prolonga a vida da carcaça, são duas alternativas que permitem reduzir o número de pneus novos a serem substituídos a cada ano e, conseqüentemente, o descarte de pneus usados que deverão ser dispostos corretamente. Quando o recurso da recauchutagem não pode mais ser aplicado e os pneus se tornam inservíveis, outras técnicas poderão ser empregadas como a reutilização e a reciclagem.

Pesquisas estão sendo realizadas principalmente no exterior, buscando o desenvolvimento de novas tecnologias para reutilizar pneus velhos. Na sua forma inteira, como borracha reciclada ou como combustível na geração de energia.

No campo da engenharia civil, existem diversas propostas de baixo custo que utilizam um número significativo de pneus inteiros, envolvendo ações relativamente simples de execução. Podem ser utilizados em obras de contenções, nas margens de rios para evitar desmoronamentos, como recifes artificiais, na construção de quebra-mares, na construção de equipamentos para parques infantis, como barreira em acostamento de estradas, no controle de erosão, etc. Entretanto, a maioria dessas alternativas resulta em soluções finitas e saturáveis em curto prazo, mas que podem contribuir de maneira significativa na diminuição do passivo ambiental. Os resíduos provenientes da recauchutagem ou mesmo os pneus processados, podem ser utilizados em substituição aos materiais de construção convencionais, tais como, a areia e a brita, na confecção de blocos e placas pré-moldadas de concreto, em reforços de solos moles, aterros, e também, como matéria-prima, na fabricação de pneus novos e na produção de asfalto.

A reciclagem de pneus envolve um ciclo que compreende a coleta, transporte, trituração e separação de seus componentes (borracha, aço e lona), transformando sucatas em matérias-primas que serão direcionadas ao mercado, contribuindo para a preservação dos recursos naturais. Quanto menor a granulometria maior o custo envolvido e, esse custo pode inviabilizar o

desenvolvimento de alguns mercados potenciais. Sendo, de fundamental importância à parceria entre universidades e empresas, buscando-se analisar as oportunidades de mercado e o desenvolvimento de tecnologias adaptadas à realidade brasileira e que possibilitem a utilização da borracha reciclada em larga escala.

A utilização de pneus (inteiros e/ou processado) como fonte alternativa de combustível é uma opção que tem gerado muita controvérsia principalmente nos países europeus e nos Estados Unidos onde essa prática é comum. Uma das razões se deve aos elevados investimentos em equipamentos (filtros e fornos) para monitoramento contínuo das emissões atmosféricas. No Brasil, as empresas fabricantes de pneumáticos apostam no co-processamento de pneus em fornos de produção de clínquer como uma das melhores alternativas para equacionar o problema desses resíduos no país. É esperado que em curto e médio prazo as indústrias cimenteiras irão absorver grandes quantidades de pneus inservíveis devido principalmente ao elevado poder calorífico dos pneus e da possibilidade das empresas receberem essa matéria-prima a custo zero.

A pirólise é também uma alternativa vantajosa que consiste na transformação dos resíduos de pneus em óleo e gás combustível.

No Brasil, existem vários grupos de diferentes tamanhos que consomem alguns milhões de pneus por ano, dentre eles estão as grandes cimenteiras, produtores de óleo e gás de xisto (pirólise), produtores de artefatos de borracha, fabricantes de asfalto, laminadoras de pneus realizada principalmente por empresas de pequeno porte e que produzem uma grande variedade de produtos a partir dos componentes de pneus inservíveis e pequenas empresas que picotam o pneu velho também se proliferam pelo país.

Tendo em vista os dados levantados da capacidade de utilização das principais empresas no Brasil (TABELA 6.1), estima-se que cerca 8 milhões de pneus estão sendo utilizados como combustível alternativo em fornos de cimenteira (Cimpor, Holcim, Lafarge e Votorantin); 5 milhões de pneus na produção de óleo e gás de xisto; 1,5 milhões de pneus em artefatos de borracha, totalizando 20,5 milhões de pneus/ano.

TABELA 6.1 – Destino final para os pneus inservíveis no Brasil

| Destino final | Quantidade (em milhões de unidades) |
|--|---|
| Combustível alternativo - TDF | 8,0 |
| Produção de óleo e gás (Pirólise) | 5,0 |
| Artefatos de borracha | 1,5 |
| Borracha regenerada | 6,0 |
| Subtotal | 20,5 |
| Meio ambiente, lixões, aterros sanitários e depósitos próprios | 23,5 |
| Total de pneus descartados/ano | 44,0 |

No Brasil, onde o déficit habitacional é alto e os recursos financeiros existentes para aplicação em programas habitacionais são escassos, em função do custo de implantação desses, acrescido do estágio de esgotamento de alguns recursos naturais, como no caso da areia em Curitiba/PR, onde os pneus inservíveis poderiam ser utilizados. Tendo em vista que os pneus inservíveis se encontram em grande quantidade em todo território nacional e a possibilidade de baratear o custo dessas habitações, inclusive no que se refere ao ganho de tempo para a implantação das mesmas, verifica-se a possibilidade de empregá-los na recuperação do solo, no caso deste possuir uma estrutura pobre, ou pouca permeabilidade; como elemento de estabilização de encostas; na construção das habitações; na pavimentação das vias; nos pisos das quadras esportivas das áreas de lazer; nos *playgrounds*; e, em outros equipamentos como totens de sinalização.

A incorporação em pavimentos asfálticos se destaca pelo potencial de consumo de pneus inservíveis. Dos cerca dos 1,7 milhões de quilômetros da malha viária existente no Brasil, menos de 10% (cerca de 160 mil quilômetros) são revestidos por pavimentos asfálticos (GEIPOT, 2001). Considerando que cada tonelada de mistura pode incorporar a borracha de 1 a 4 pneus de veículos de passeio, a pavimentação de apenas 0,5% (cerca de 7.800 km) do total de quilômetros de rodovias não-pavimentados poderia consumir mais de 11 milhões de pneus, cerca de 25% dos pneus descartados a cada ano (BERTOLLO e FERNANDES JR., 2002).

Ainda existem obstáculos quanto ao emprego da borracha reciclada pela indústria da construção civil, principalmente de origem econômica, pois a trituração dos pneus representa um custo relativamente alto. É necessário que se faça uma análise das oportunidades de mercado e do desenvolvimento de tecnologias adaptadas à realidade brasileira, que possibilitem a utilização em larga escala, verificando também as cadeias de processamento e beneficiamento que

assegurem a demanda de mercado. A medida em que trabalhos de pesquisas apresentarem resultados sobre a viabilidade técnica e a sociedade se conscientizar do elevado custo ambiental da disposição de pneus inservíveis, certamente o uso se disseminará.

Contudo, para que a evolução tecnológica continue ocorrendo, é de fundamental importância que se criem incentivos financeiros e legislações que viabilizem o desenvolvimento e a aplicação dessas pesquisas, bem como sejam oficializados convênios para esse fim, entre o poder público, os segmentos de pneumáticos e as universidades, com a finalidade de que seja vencido o desafio imposto pelos pneus inservíveis.

Capítulo 7

7. CONCLUSÃO

A disposição final de pneus inservíveis representa um problema de difícil solução, em todo o mundo. Com base nos dados levantados através desta pesquisa, observou-se que o Brasil está no mesmo nível de países desenvolvidos, que possuem grandes frotas de veículos e, conseqüentemente, grandes descartes de pneus inservíveis. Contudo, nenhum país produz mais pneus inservíveis que os Estados Unidos.

Por enquanto, no Brasil, os fabricantes acabaram por aceitar o ônus da coleta e do desembolso pela trituração e pelo transporte dos resíduos. As importadoras de veículos ainda não adotaram a coleta, e questionam se, legalmente, estariam sujeitas à Resolução do CONAMA, alegando que não fabricam nem os veículos, nem os pneus.

A recauchutagem de pneus é viável economicamente, do ponto de vista dos usuários e reconhecida até pelos reformadores. Ela está mais nos pneus de caminhões e ônibus, e menos nos pneus de automóveis que representam mais de dois terços do descarte.

A regeneração da borracha dos pneus é um processo caro e demorado, e a reutilização também representa pequena parcela do potencial gerado pelo descarte dos pneus, tendo em vista que existem poucas empresas no ramo, como também uma abundância de resíduos de borracha até mais nobres para regeneração.

A recuperação e a utilização da borracha reciclada de pneus, na pavimentação e na carga para outros artefatos, representa uma parcela diminuta dos pneus descartados e a descartar; e sua queima nos fornos de cimento, representa um enorme desperdício de todos os demais componentes do pneu.

O processo pirolítico com xisto é também desperdiçador dos outros componentes do pneu, além de estar operando num único local no país. Existe uma forte tendência, em todo o mundo, de considerar a pirólise como o processo mais eficaz de reciclagem integral dos pneus. Na

comparação com as outras alternativas aqui analisadas, este processo, sob os aspectos econômico, é o processo de maior custo inicial de investimento.

Os países desenvolvidos, há anos tentam exportar pneus “meia-vida” para os países em desenvolvimento, inclusive para o Brasil, com importações já proibidas. São muitos e contrários interesses a acomodar. Entretanto, é preciso examinar mais atentamente as alternativas de reciclagem.

No Brasil, a meta de destruição de cerca de 11 milhões de pneus inservíveis em 2002, estipulada pela Resolução n.º 258/99, do CONAMA, foi atingida neste primeiro ano de vigência da lei, pelos mercados existentes. Para o ano de 2003 a meta será a destruição de cerca de 22 milhões de pneus inservíveis, numa projeção crescente até 2005, o que exigirá a abertura de novos mercados para atender a resolução. Pensando nisso, grupos de pesquisa e desenvolvimento estão atuando em uma diversidade de áreas do conhecimento, estudando novas alternativas para a disposição final dos pneus inservíveis.

A indústria da construção civil é um mercado em potencial para absorver uma parcela dos pneus inservíveis gerados anualmente, devido a grande quantidade e diversidade de materiais que consome. Inteiros ou triturados, em substituição aos materiais de construção convencionais e, em pó, usada na composição de misturas asfálticas, muito empregado nos Estados Unidos. Ainda que em número limitado, podem contribuir de maneira significativa na diminuição do passivo ambiental. No Brasil, vislumbra-se a possibilidade de utilizar os resíduos de pneus na implantação de conjuntos habitacionais e na pavimentação de rodovias.

Espera-se que as aplicações na engenharia civil sejam mais difundidas à medida que as diversas aplicações sejam provadas serem técnicas e economicamente viáveis.

7.1 Sugestões para trabalhos futuros

A partir dos resultados obtidos é possível sugerir alguns trabalhos futuros:

- fazer um levantamento real dos estoques de pneus inservíveis em todas as regiões brasileiras;

- Incentivar prefeituras para utilização de pneus em obras públicas, como, muros de contenção de encostas, controle de erosão, confecção de placas e blocos para pisos e pavimentação de ruas;
- desenvolver um sistema de informações sobre reciclagem e reutilização de pneus inservíveis na construção civil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Resíduos Sólidos – Classificação**, NBR 10004. Rio de Janeiro, 1987.

ABTI – Associação Brasileira de Transportadores Internacionais. In: **Boletim Quinzenal**. No. 144 – Ano VII - 31/08/2001. **Asfalto Ecológico é Utilizado pela Primeira vez no Brasil**. Disponível em: <<http://www.abti.com.br/boletim-144.htm>> Acesso em: 05/02/2002

ADHIKARI, B.; DE, D.; MAITI, S. **Reclamation and recycling of waste rubber**. Materials Science Centre, Indian Institute of Technology, Kharagpur 721302, Indian. ELSEVIER - Progress in Polymer Science. 22 (2000) 909-948

AERP: Alberta environmental rubber products. **Ground Rubber for Manufactured Product**. Foto Gallery. 2001. Disponível em: <<http://www.aerpi.com/contact.htm>> Acessado em: 05/10/2001

ALL STATES ASPHALT Inc. **Asphalt-Rubber**. Disponível em: <<http://www.allstatesasphalt.com>> Acesso em: 14/07/2001

ALMEIDA, M.C. **Estudo do Ciclo de Vida do Pneu Automotivo e Oportunidade para Disposição Final de Pneus Inservíveis**. Dissertação de Mestrado. Universidade de Federal de São Carlos-SP. 201 p. 2002.

AMIRKHANIAN, S.N. **Utilization of Crumb Rubber in Asphalt Concrete Mixtures**. South Carolina's Experience. Department of Civil Engineering. Clenson University. 2001.

ANBIO: Associação Nacional da Biossegurança. **Artigos: A Tecnologia do Concreto Aliada ao Meio Ambiente**. 2001. Disponível em: <http://www.anbio.org.br/bio/biodiver_art102.htm> Acessado em: 12/03/02

ANDRIETTA, A.J. **Pneus e Meio Ambiente: Um grande problema requer uma grande solução**. Disponível em: <<http://www.reciclarepreciso.hpg.ig.com.br/recipneus.htm>> Acessado em: 12/12/2002

ANIP: Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos. **Coleta e reciclagem de pneus**. 2000. 23p.

ANIP: Associação Nacional de Indústrias de Pneumáticos. 2002.

ARPG: Asphalt rubber producers group. **Uses of Asphalt Rubber**. Phoenix, Arizona. 1993.

ARRC: Appalachian regional recycling consortium. **Tire**. Local Utilization of scrap tires – Information & Resource List. 2001. Disponível em: <http://www.nrvpdc.org/arrc/tire_ut.html> Acessado em: 10/09/2001

ARTS: Asphalt rubber technology service. **Did You Know?** 2000. Disponível em: <<http://www.ces.clemson.edu/arts/didyou.html>> Acessado em: 10/04/2001

ASU: Arizona state university. **Research discovers way to recycle tires**. 2001. Disponível em: <<http://www.asu.edu/asunews/Release/Zhu0901.htm>> Acessado em: 10/02/2002

BAHIA, H.U.; HISLOP, W.P.; ZHAI, H.; RANGEL, A. **Classification of Asphalt Binders Into Simple and Complex Binders**. Proceedings of Association of Asphalt Paving Technologists. 1998. p. 01-41.

BENSON, C.H. **Using shredded scrap tires in civil and environmental construction**. University of Wisconsin. Madison. Resource Recycling. October 1995.

BERTOLLO, S.A.M.; FERNANDES JR, J.L.; VILLAVERDE, R.B.; MIGOTTO FILHO, D. Pavimentação Asfáltica: uma alternativa para a reutilização de pneus usados. **Revista Limpeza Pública**, nº 54. Janeiro, 2000.

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

BIEL, T.D. Use of Recycled Tire Rubbers in Concrete. Materials Engineering Conference. 1994, San Diego. **Proceedings...** San Diego, USA. Vol.3, p. 351-358.

BLUMENTHAL, M. Scrap Tire Market Analysis. **Biocycle: Journal of Waste**, (38:2) pp. 70-72, February 1997.

BNDES: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. **Pneus**. BNDES: Áreas de Operações Industriais 2/ Gerência Setorial 2. Junho/1998. p. 01-34.

BNDES: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. **Mercado Nacional de Pneumáticos**. BNDES: Áreas de Operações Industriais 2 AO2. Gerência Setorial do Complexo Automotivo. Março/2000. N.º 30. p. 01-07.

BRESSI, G. Recycling of Used Tyres. In: REC'93. INTERNATIONAL RECYCLING CONGRESS. 1993, Geneva. **Proceedings...** Geneva: Palexpo, v.1. pp. 326-335.

BUTTON, E.F. Performance of a Tire-Sand Inertial Barrier System in Connecticut – Final Report. **Report N.º FHWA-CT-RD-343-F-77-6**. Connecticut Department of Transportation, 1977.

CALIFÓRNIA PNEUMÁTICOS LTDA. **Processos da Reforma**. Disponível em: <http://www.californiapneus.com.br/Proc/Proc_Index.htm> Acessado em: 05/02/2002

CARVALHO, J. **Pneus**. Fichas Técnicas – PCC/USP. 2000. Disponível em: <<http://www.reciclagem.pcc.usp.br/pneus.html>> Acessado em: 06/12/2000

CECAE - Disque Tecnologia da Universidade de São Paulo. APROTEC – Tecnologia Apropriada. RESPOSTA N.º 33. **Recuperação da Borracha**. Disponível em: <<http://www.cecae.usp.br/aprotec/RESP33.htm>> Acessado em: 21/06/2002

CEMPRE: Compromisso empresarial para reciclagem. **Pneus**. Ficha Técnica 8 , 2000. Disponível em : <<http://www.cempre.org.br/fichas/ficha8.html>> Acessado em: 20/01/2002

CETESB – Resíduos Sólidos. **Disposição de Pneus em Aterros**. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/solo_pneus.htm> Acessado em: 09/07/2002

CIMWB: California Integrated Waste Management. **Effects of Waste Tires, Waste Tire Facilities, and Waste Tire Projects on the Environment**. CIMWB Publication Number: 432-96-029. Report: April 1996. Disponível em: <<http://www.cimwb.ca.gov/Publications/Tires/43296029.doc>> Acessado em: 30/09/2001

CINCOTTO, M.A. **Utilização de subprodutos e resíduos na indústria da construção civil**. In: Tecnologia das Edificações. São Paulo, PINI, 1988.

COLLAÇO, A.B. **Uso de Pneu Picado como Meio Suporte de Leitos Cultivados para o Tratamento de Esgoto Sanitário.** Dissertação de mestrado. Universidade Estadual de Campinas, SP. Engenharia Agrícola. 2001.

CONAMA: Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução N.º 258/99.** Disponível em: <<http://www.lei.adv.br/258-99.htm>>

COSTA, J.T.; DALMAS, J.C.; GIROLDO, A.C. e XAVIER, M.S. **O descarte de pneus usados em Londrina.** 2000. Disponível em: <<http://www.ablp.org.br/destaque.html>> Acessado em: 12/06/2001

DESTAQUE. **Outras Formas de Reciclagem e Reaproveitamento dos Pneus.** Informativo nº 11, p. 06 e 07. 1999.

DEP: Department of Environmental Protection. **Tire Dumps: risks and dangers.** 2540-FS-DEP1644 6/98. Disponível em: <<http://www.dep.state.pa.us/dep/deputate/airwaste/wm/MRW/Tires/Fs1644.pdf>> Acessado em: 20/09/2001

DIERKES, W. **Borracha Reciclada: Uma Matéria-Prima de Valor.** Vredestein Rubber Resources. Maastricht, Holanda. Matéria Técnica, p. 20-25, s.d. Disponível em: <<http://www.borrachaatual.com.br>> Acessado em: 10/12/2001

ELDIN, N. N. & SENOUCCI, A.B. Rubber-Tire Particles as Concrete Aggregate. **Journal of Materials in Civil Engineering**, Vol. 5, N.º 4, Nov. 1993.

ENTECH, Inc. Disponível em: <www.4entech.com/productsTurf.htm> Acessado em: 11/02/02

EPA: Environmental Protection Agency. **Air Emissions from Scrap Tire Combustion.** EPA/600/SR-97/115, 1998.

EPA: Environmental Protection Agency. **Markets for Scrap Tires.** EPA/530-SW-90-074A, October 1991.

EPPS. **NCHRP Synthesis of Highway Practice 108: Uses of Recycled Rubber Tires in Highways.** TRB, National Research Council, Washington, D.C., 162p. 1994.

ETS: European Tyre School. **Module 7: Tyre life cycle, environmental aspects and recycling.** 1999.

EXPOBOR 2001. **Pneus usados volta ao pó.** Disponível em: <<http://www.plastico.com.br/revista/pm327/expobor5.htm>> Acessado em: 03/08/2002

EWARDINGER, M. Recycling Technology: new generation of tire processing. **Biocycle: Journal of Waste**, v. 37, n. 1, p. 40-42, 1996.

FANG, Y.; ZHAN, M.; WANG, Y. **The Status of Recycling of Waste Rubber.** Department of Materials Sciences and Engineering, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083. PR China. *Materials and Design* 22(2001) p. 123-127. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/matdes>>

FARRO, W. Sucata vira Matéria-Prima e Gera Lucro. Desenvolvimento Sustentado. **Revista de Indústria**, setembro, p. 22-26, 1997

FIEP. SISTEMA FIEP. **Bolsa de Reciclagem.** Informativo. Disponível em: <www.bolsafiep.com.br/revista/exibe_news.asp?codigo=20&pag=24>

FIRESTONE. **Pneus.** Informações técnicas. Disponível em: <http://www.firestone.co.za/passenger/Tips/consumer_history.htm>

FITMA: Feira internacional de tecnologias para o meio ambiente. Dados de Mercado. FITMA 2002. **Aquatech Brazil 2002.** Disponível em: http://www.fitmaquatech.com.br/market_05.htm. Acessado em: 10/08/2002

FRANÇA, H. Fabricantes devem reciclar pneus a partir de 2002. **Ciência, Tecnologia & Meio Ambiente.** 2001. Disponível em: <http://www.radiobras.gov.br/abrn/c&t/2001/materia_140901_1.htm> Acessado em: 22/12/2001

FRANCO, L. Negócios Ambientais um Mercado Promissor. **ECOLATINA.** Ano II, n. 4. Agosto, setembro e outubro de 2001. Disponível em: <http://www.ecolatina.com.br/ambietec/ed04/int_negocios2.html> Acessado em: 25/07/2002

FREIRE, F.; FERRÃO, P.; REIS, C.; THORE, S. Life Cycle Activity Analysis Applied to the Portuguese Used Tire Market. In: **Total Life Cycle Conference.** Detroit. Abril 26-28. 2000.

GARGA, V.K. and O'Shaughnessy, V. Use of Scrap Tires for Embankment Construction. In: 48th CANADIAN GEOTECHNICAL CONFERENCE. **Proceedings...** Vancouver, Canadá, vol. 1, p. 425–432, 1995.

GARLET, G. **Aproveitamento de resíduo de E.V.A. (Ethylene Vinyl Acetate) como agregado para concreto leve na construção civil.** Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia-UFRG, Rio Grande do Sul, p.27 e 28, 1998.

GAZETA MERCANTIL. **Vibrapar aposta na reciclagem de pneus.** 07/01/2001.

GEIPOT. Rede Rodoviária: extensão total das rodovias pavimentadas e não-pavimentadas – 1995-99. In: **Anuário Estatístico dos Transportes.** Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes. Ministério dos Transportes. 2001.

GEIPOT. Frota Nacional de Veículos Automotores – número de veículos existentes - 2000. In: **Anuário Estatístico dos Transportes.** Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes. Ministério dos Transportes. 2002.

GERALDO, J. Um Setor de Ponta. **O Carreteiro**, n.º 313. 2000. Disponível em: <<http://www.revistaocarreteiro.com.br/ano2000/edição313/recauchutagem.htm>> Acessado em: 06/05/2002

GERALDO, J. (a). O Peso do Reformado. **O Carreteiro**, Ano XXX, n.º 320, abril/2001. Disponível em: <www.revistaocarreteiro.com.br/ano2001/Edicao320/recauchutagem.htm> Acessado em: 29/07/2002

GERALDO, J. (b). O encontro dos reformadores de pneus. **O Carreteiro**, n.º 326, 2001. Disponível em: www.revistaocarreteiro.com.br/ano2001/index326.htm Acessado em: 26/07/2002

GOODYEAR. **Pneus.** Informações técnicas. Disponível em: <<http://www.goodyear.com>>

GOODYEAR. Goodyear Investor Relations. 1996. In: **Annual Report.** Disponível em: <<http://www.goodyear.com/investor/annual/buchem.html>> Acessado em: 26/07/2001

GOULART, E.A. **Reciclagem energética de pneus automotivos através de reator de leito fluidizado uma proposta para a questão ambiental.** (Tese de doutoramento. Universidade Estadual de Campinas, SP.). 1999.

GÜNTHER, E.M.R. Minimização de resíduos e Educação Ambiental. In: VII Seminário Nacional de Resíduos Sólidos e Limpeza Pública. **Anais...** ABLP: Associação Brasileira de Limpeza Pública.

HAUSMANN, M.R. **Slope Remediation**. Stability and Performance of Slope and Embankments-II, Geotechnical Special Publication, n.º 31, ASCE, edited by R.B. Seed and R.W. Boulanger, vol. 2, p. 1274-1317, 1990.

HAWLEY G. G. **The Condensed Chemical Dictionary**, 8th Edition, Ed VNR 1971.

HEITZMAN, M. A. State of the Practice. **Design and Construction of Asphalt Paving Materials with Crumb Rubber Modifier**. U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, Publication No. FHWA-AS-92-022, May. 1992.

HUMPHREY, Dana N. **Investigation of Exothermic Reaction in Tire Shred Fill Located on SR100 in Ilwaco, Washington**. Washington: Federal Highway Administration, 1996.

IPT: INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Reciclagem**. IPT Notícias, V7, n. 38, maio/junho, 1p. 1995.

ITAA: INFORMATION TECHNOLOGY ASSOCIATION OF AMERICA. In: **Business to Business**. Vol. 4. n.º 19. COHEN, B. Editor. Disponível em: <<http://www.ita.org/itserv/itpub/jun99.pdf>>

ITRA: INTERNATIONAL TIRE & RUBBER ASSOCIATION FOUNDATION. In: **The Tire Retreating/Repair Journal**. 2000.

JANG, J.W.; YOO, T.S.; IWASAKI, I. **Discarded tire recycling practices in the United State, Japan and Korea**. Resources Conservation and Recycling, v. 22, p. 1-14, 1998.

JAYAWICKRAMA, P.W.; SENADHEERA, S. P.; SONTI, K.; HOSSAIN, S. **Use of whole tires & fly ash in earth retaining structures**. Department of Civil Engineering, Texas Tech University. 2000. Disponível em: <<http://www.ce.ttu.edu/centers/geotech/jayawick/flyash/flyash.htm>>

JOHN, V.M. Pesquisa e desenvolvimento de mercado para resíduos. Workshop - Reciclagem e reutilização de resíduos como material de construção civil. 1996. São Paulo. **Anais**. São Paulo: PCC-USP, 1996. p. 21-29.

JOHN, V.M. **Reciclagem de resíduos na construção civil: contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. São Paulo. (Tese para título de Livre Docente. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (PCC USP)), 102p, 2000.

JUNIOR, E.M. *et al.* **Gerenciamento Ambiental: Alternativa de Estabilização de Resíduos Industriais e Urbanos com Cimento e Concreto**. Associação Brasileira de Cimento Portland, 1992.

KIHARA, Y. e MARINGOLO, V. Desenvolvimento do Co-Processamento de Resíduos na Indústria Brasileira de Cimento. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE MEIO AMBIENTE INDUSTRIAL (SIMA). Associação Brasileira de Cimento Portland. 2000. São Paulo (SP).

LANE, K.R. **Instalation of a Sand-Tire Inertial Barrier System in Connecticut**. Connecticut Department of Transportation. Agosto, 1975.

LIU, H. S.; MEAD, J.L.; STACER R.G. Enviromental Impacts of Recycled Rubber in Light Fill Applications: Summary & Evaluation of Existing Literature. **Technical Report # 2** - CHELSEA Center for Recycling and Economic Development - University of Massachusetts. 1998.

LONG, N.T. **Pneusol, Tyresoil, Tiresoil**. Colloque Routes et Development, Ecole National des Ponts et Chaussées, France, 17p, 1984.

LONG, N.T. **The Pneusol. Publication GT44**. Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, France, 76p, 1990.

LONG, N.T. Used **Tyres** in Civil Engineering Applications. In: REC'93 – INTERNATIONAL RECYCLING CONGRESS. Geneva, Proceedings...Geneva: Palexpo, 1993. v.2, p. 349-358.

LQES – Laboratório de Química do Estado Sólido. Novidades. **Reciclagem de Pneus: novas soluções estão chegando.....** julho/2001 Disponível em: <http://lqes.iqm.unicamp.br/canal_científico/em_pauta/em_pauta_novidades_18.html> Acessado em: 10/08/2001

LUND, H. F. **The Mc Graw Hill Recycling Handbook**. McGraw-Hill, Chapter 18, 1993.

MAIA, M.A.C. et al. Sistemas construtivos com uso de resíduos: Uma alternativa para reduzir o custo da habitação popular. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. **Anais**. Rio de Janeiro, Nov. 1995, p. 503-509.

MARCHIORI, E. U. **A reciclagem de pneus**. Partido Verde. 2000 Disponível em: <<http://www.verde.org.br/terra/outras.htm>> Acessado em: 05/07/2001

MDIC - Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio, Secretaria de Política Industrial. **PBR – Programa Brasileiro de Reciclagem**, V.1: Bases para o seu Desenvolvimento Estratégico, 1999.

MEDEIROS, L.V.; SAYÃO, A.S.F.J.; GARGA, V.K.; ANDRADE, M.H.N. **Use of Scrap Tires in Slope Stabilization**. 2nd Panamerican Symposium on Landslides, ISSMGE, Rio de Janeiro, Brasil, vol. 2, p. 637-643, 1997.

MEDEIROS, L.V. et al. Reuso de Pneus em Geotecnia. In: SEMINÁRIO NACIONAL SOBRE REUSO/RECICLAGEM DE RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS. SMA/SP, 2000.

MEMO from S. A. Sabol of NCHRP on Whole Truck Tires Used as Culvert, based on meeting with C. Bocash of Town of Georgia, Vermont. 1992.

MMA: MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Agenda 21**. 2002. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/se/agen21/capa>> Acessado em: 28/07/2002

NARRA: NORTH AMERICAN RECYCLED RUBBER ASSOCIATION. **Tire Recycling in Europe**. Recycler's World. Disponível em: <<http://www.recycle.net/recycle/assn/narra/europe.html>> Acessado em: 02/08/2002

NGUYEN, M.X., WILLIAMS, J.A. Implementation Package for Using Discarded Tires in Highway Maintenance. **Report N.º CA/TL-89/10**. California Department of Transportation, 1989.

NOVICKI, R.E.M. e MARTIGNONI, B.N.V. **Retortagem de Pneus**. In: SEMINÁRIO NACIONAL SOBRE REÚSO/RECICLAGEM DE RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS . PETROBRÁS-PR, 2000.

ODA, S. **Análise da Viabilidade Técnica da Utilização do Ligante Asfalto-Borracha em Obras de Pavimentação**. (Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos, EES/USP). 251p. 2000.

PETROBRÁS. **Manual de Serviços de Pavimentação**. Petrobrás Distribuidora S.A, Rio de Janeiro,RJ, 1996.

PETROBRÁS. **Relatório Anual 1999**. Gestão Corporativa.

PETROFLEX - 2001. Disponível em: <<http://www.petroflex.com.br>>

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

RAC: RUBBERIZED ASPHALT CONCRET TECHNOLOGY CENTER. **How Rubberized Asphalt Concrete is Made**. 2001. Disponível em: <<http://www.rubberizedasphalt.org/how.htm>> Acessado em: 03/09/2001

RACTC: RUBBERIZED ASFALT CONCRETE TECHNOLOGY CENTER. **How RAC is made?** 2001. Disponível em: <<http://www.rubberizedasphalt.org/how.htm>>

RECICLOTECA. **A borracha e o pneu: reaproveitamento e reciclagem**. Disponível em: <http://www.recicloteca.org.br/3-reciclav/mat_recic/borracha/borracha.htm> Acessado em: 05/04/02

REIS, R. M. M. e SANTO, N. E. **Asfalto Modificado com Polímero**. Tecnologia de ponta para prolongar a vida dos pavimentos asfálticos. Ipiranga Asfalto, 1999.

REIS, *et al.* As Utilidades dos Pneus Descartados no Estado da Paraíba - Nordeste do Brasil. In: 19° CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA. **Anais...** Foz do Iguaçu. ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. 1997.

REINIKKA A. **Energy Balance in Life-Cycle Assessment of a Tyre**. Polymer Recycling. Vol. 1. Issue 4. pp. 263-268. 1995.

RESCHNER, K. **An Overview of Commercially Available Scrap Tire Processing and Rubber Recycling Methods**. April, 2002.

RESOL ENGENHARIA LTDA. 2002. In: **Compilação de diversas Legislações Ambientais no Brasil**. Disponível em: www.resol.com.br Acessado em: 16/05/2002

RHODIA BRASIL LTDA. **Uma nova geração de sílica para aplicação em pneus**. III Seminário de Atualidades em Tecnologia de Elastômeros. Porto Alegre. 25 – 26 Jun. 1998.

RMA: Rubber Manufacturers Association. **Scrap Tire Facts and Figures**. May, 2002
Disponível em: http://www.rma.org/scraptires/facts_figures.html Acessado em: 14/08/2002

RMA: Rubber Manufacturers Association. **Energy Recovery From Scrap Tires**. May, 2002.
Disponível em: <http://www.rma.org/scraptires/Energy.html> Acessado em: 14/08/2002

RMA: Rubber Manufacturers Association. Scrap Tire Management Council 1990-2000. **Ten Years of Success**. Disponível em: <http://www.rma.org/scraptires/pdf/brochure.pdf>
Acesso em: 24/09/2001

ROCCA, A.C.C. et al. **Resíduos sólidos industriais**. CETESB, 2^a ed. São Paulo, 1992.

RUTH, B.E.; TIA, M.; JONSSON, G.; SETZE, J.C. **Recycling of Asphalt Mixtures Containing Crumb Rubber**. Final Report. FL/DOT/MO D510717. University of Florida. Florida Department of Transportation. 221p., 1997.

SALINI, R.B. **Utilização de Borracha Reciclada de Pneus em Misturas Asfálticas**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina-UFSC. 120p. 2000.

SALTER, R.J.; MAT, J. **Some Effects of Rubber Additives on Asphalt Mixes**. Transportation Research Record 1269, TRB, Washington, DC, p.79-89, 1990.

SCRAP TIRES & RECYCLING. In: **Earth Link Technology Enterprises Ltd**. 2001.
Disponível em: <http://www.earth-link.com.hk/tire2.htm>

SCRAPTIRENEWS. World Leaders Discuss Scrap Tires. Scrap Tire News Online: the scrap tire and rubber industry portal. In: **Rubber Recycling '98: The North American Experience**. October 22-23, in Mississauga, Ontario Canada. Disponível em: <http://www.scraptirenews.com/98dec1.html> Acessado em: 22/06/2002

SEGRE, N. C. **Reutilização de borracha de pneus usados como adição em pasta de cimento**. (Tese de doutoramento. Universidade Estadual de Campinas, SP. IQ/UNICAMP). 1999.

SOUZA, Francisco Alberto Utilização de pneus pós-consumo como combustível em fornos de cimento. In: SEMINÁRIO NACIONAL SOBRE REUSO/ RECICLAGEM DE RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS. SMA/SP, 2000.

STEBBING, L. **Disposing of tires as a fuel source in the EAF.** Steel Times Europe's Steel Journal – march/2001. Pneumáticos Usados como Fonte de Combustível para Forno Elétrico. Traduzido por: Eng. Miguel Siegel. ABM: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE METALURGIA E MATERIAIS. ABM_{NEWS}, 06/07/2001. Disponível em: <<http://207.201.172.105/news.abm/arquivo/pneus.html>> Acessado em: 22/06/2002

STMC: Scrap Tire Management Council. **Scrap Tire Use Disposal Study**, 1992.

STJ: Superior Tribunal de Justiça. Presidência do STJ reafirma posição no caso da importação de pneus usados. **Notícias STJ** (22/06/2001). Processo: SS 924. Disponível em: <http://www.mp.sc.gov.br/internet/centros/noticiastj/cco_notstj220601.htm> Acessado em: 22/10/2001

SZPILMAN, M. Reciclagem. In: **Instituto Ecológico AQUALUNG**. Informativo n.º 23, jan/fev 1999. Disponível em: www.uol.com.br/instaqua/info31.htm Acessado em: 22/02/2002

TOMMASINI, G. Pneus: Desafio da Reciclagem. **Revista Autoesporte**, n.º 421, ano 36, seção Ponto de Vista. 2001 Disponível em: <www.autoesporte.globo.com/pneusdesafiosdareciclagem_arquivos/pontodevista.htm> Acessado em: 13/11/2001

TOUTANJI, H.A. The Use of Rubber Tire Particles in Concrete to Replace mineral Aggregates. In: **Cement & Concrete Composites**, N.º18, 1996. pp. 135-139

TUNES, S. Um fim para os restos da indústria. In: **Revista Globo Ciência**. Ano 8, n.º 85, agosto1998, p. 26-31.

TURCATO, M. Uso de Pneus na Construção Civil. In: **Folha do Meio Ambiente**. Ano 12. Edição 118. Brasília/DF, agosto de 2001. Disponível em: <http://www.folhadomeioambiente.com.br/fma-118/lixo.htm>.

USEPA . **Enviromental Protection Agency-USA**, 2000.

UTEP: Usina Trituradora Ecológica de Pneus. Disponível em: <<http://www.unilivre.org.br/centro/experiencias/experiencias/011.html>> Acessado em: 20/10/2002.

VRIJLING, J.K. An economic model for the successful recycling of waste materials. In: **Waste Materials in Construction**. Goumans, van der Sloot, Aalbers Eds. Elsevier: London, 1991.p.601-618

WARMER. Bulletin n.º 64, jan/1999, p. 4-5.

WAY, G.B. **Flagstaff I-40 Asphalt-Rubber Overlays Project. Nine Years of Success**. Paper Presented to Transportation Research Board. 78th Annual Meeting, TRB, 1999.

ZANZOTTO, L.; SVEC, O. Utilization of Recycled Tire Rubber in Asphalt Pavement. Ottawa: Transportation Association of Canada, 1996.

ANEXOS

ANEXO A1

QUESTIONÁRIO ENVIADO À ANIP/SINPEC

QUESTIONÁRIO PARA PROJETO DE PESQUISA/DISSERTAÇÃO DE MESTRADO UFSC - UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA ÁREA: CONSTRUÇÃO CIVIL

1) Quantas indústrias de pneumáticos existem no País atualmente? Onde estão localizadas? Qual a capacidade de produção?

2) Qual a quantidade de pneus novos produzidos nos últimos cinco anos?

| Categoria | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 |
|--------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Carros de Passeio | | | | | |
| Comerciais Leves | | | | | |
| Caminhões e Ônibus | | | | | |
| Outros | | | | | |

3) Qual a quantidade de pneus colocados no mercado nacional?

| Categorias | Mercado Original (Montadoras) | Mercado de Reposição |
|--------------------|--|---------------------------------|
| Carros de Passeio | | |
| Comerciais Leves | | |
| Caminhões e Ônibus | | |
| Outros | | |

4) Quantos fabricantes de pneus instalados no Brasil?

| Empresa | N.º de Plantas | Localização |
|----------------|-----------------------|--------------------|
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |

5) Importação de pneus, em toneladas

| Tipo de Pneu | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 |
|---------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Carros de Passeio | | | | | |
| Comerciais Leves | | | | | |
| Caminhões e Ônibus | | | | | |
| Outros | | | | | |
| Recauchutados | | | | | |
| Usados | | | | | |
| Total | | | | | |

6) Exportação de pneus, em toneladas

| Tipo de Pneu | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 |
|---------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Carros de Passeio | | | | | |
| Comerciais Leves | | | | | |
| Caminhões e Ônibus | | | | | |
| Outros | | | | | |
| Recauchutados | | | | | |
| Usados | | | | | |
| Total | | | | | |

7) Onde está localizada a indústria de processamento da ANIP e qual sua capacidade?

8) Qual a destinação final dos pneus processados?

9) Será atingida a meta imposta pela Resolução 258/99, do Conama, para os fabricantes de pneus neste primeiro ano de vigência da lei?

10) Todos os pneus usados, recolhidos pelos 4000 postos de revenda de pneus irão direto para a indústria de processamento ou antes serão selecionados e separados àqueles que podem ser recauchutados e colocados em depósitos apropriados?

11) Se só há uma indústria processadora representando a ANIP, o que se fará com os pneus inservíveis de outras regiões? Sabe-se que os gastos com transportes pode tornar essa operação inviável economicamente.

12) Existe algum trabalho ou material publicado, que possa ser consultado? Vocês poderiam me fornecer?

ANEXO A2
QUESTIONÁRIO ENVIADO À
ABCP-Associação Brasileira de Cimento Portland

QUESTIONÁRIO PARA PROJETO DE PESQUISA/DISSERTAÇÃO DE MESTRADO
UFSC - UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
ÁREA: CONSTRUÇÃO CIVIL

- 1) Atualmente no Brasil, quantas indústrias cimenteiras têm capacidade para co-processamento com uso de pneus inservíveis? Quantas estão operando em co-processamento com uso dos pneus?

- 2) Qual a previsão da participação das indústrias no processamento anual dos pneus inservíveis?

- 3) Dos co-processamentos existentes quais utilizam o pneu inteiro e quais demandam um beneficiamento prévio?

- 4) Dos subprodutos da incineração qual é a parcela que pode ser incorporada aos cimentos?

- 5) Qual a contribuição do co-processamento de pneus na redução do consumo energético para o processamento de clínquer?

- 6) Existe algum artigo ou trabalho publicado ou alguma informação que possa ser consultado para auxiliar este trabalho?

ANEXO A3

QUESTIONÁRIO ENVIADO ÀS BENEFICIADORAS, TAIS COMO BORCOL, MIDAS ELASTOMEROS, BS COLWAY

QUESTIONÁRIO PARA PROJETO DE PESQUISA/DISSERTAÇÃO DE MESTRADO UFSC UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA ÁREA CONSTRUÇÃO CIVIL

1) Quais os produtos de resíduos de borracha de pneus a empresa trabalha.

- pneus inservíveis inteiros.
- pneus inservíveis moídos.
- câmaras de ar velhas.
- raspa de pneus oriundos da recauchutagem.

2) Qual a origem dos resíduos de pneus a serem tratados no seu processo ?

- da própria região (raio de km)
- do próprio estado
- outros estados. Quais estados ?.....
.....
- importados. Qual ou quais países?.....

3) Como é feito a sua coleta?

4) Os resíduos de borracha de pneus passam por algum tratamento prévio? Qual o tipo?

5) Dos produtos do processamento final quais as aplicações, ou para qual mercado eles se destinam ?

() produção de artefatos de borracha

quantidade:

.....
.....
.....
.....
.....
.....

() produção de asfaltos modificados

quantidade:

.....
.....
.....
.....
.....
.....

() construção civil

aplicações/quantidade:

.....
.....
.....
.....
.....
.....

() produção energética (incineração)

quantidade:

.....
.....
.....
.....
.....
.....

() produção de óleo e gás (pirólise)

quantidade:

.....
.....
.....
.....

.....
.....

exportação
quantidade:

.....
.....
.....
.....
.....

outros
quantidade:

.....
.....
.....
.....
.....

7) Faça um breve histórico da empresa?

.....
.....
.....
.....
.....
.....

8) Existe algum artigo ou trabalho publicado ou alguma informação que possa ser consultado para auxiliar este trabalho?

ANEXO B – RESOLUÇÃO CONAMA, n.º 258/99

RESOLUÇÃO N.º 258, de 26 de agosto de 1999

O CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA, no uso das atribuições que lhe são conferidas pela Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, regulamentada pelo Decreto nº 99.274, de 6 de junho de 1990 e suas alterações, tendo em vista o disposto em seu Regimento Interno, e

Considerando que os pneumáticos inservíveis abandonados ou dispostos inadequadamente constituem passivo ambiental, que resulta em sério risco ao meio ambiente e à saúde pública;

Considerando que não há possibilidade de reaproveitamento desses pneumáticos inservíveis para uso veicular e nem para processos de reforma, tais como recapagem, recauchutagem e remoldagem;

Considerando que uma parte dos pneumáticos novos, depois de usados, pode ser utilizada como matéria prima em processos de reciclagem;

Considerando a necessidade de dar destinação final, de forma ambientalmente adequada e segura, aos pneumáticos inservíveis, resolve:

Art. 1º As empresas fabricantes e as importadoras de pneumáticos ficam obrigadas a coletar e dar destinação final, ambientalmente adequada, aos pneus inservíveis existentes no território nacional, na proporção definida nesta Resolução relativamente às quantidades fabricadas e/ou importadas.

Parágrafo único. As empresas que realizam processos de reforma ou de destinação final ambientalmente adequada de pneumáticos ficam dispensadas de atender ao disposto neste artigo, exclusivamente no que se refere a utilização dos quantitativos de pneumáticos coletados no território nacional.

Art. 2º Para os fins do disposto nesta Resolução, considera-se:

I - pneu ou pneumático: todo artefato inflável, constituído basicamente por borracha e materiais de reforço utilizados para rodagem em veículos;

II - pneu ou pneumático novo: aquele que nunca foi utilizado para rodagem sob qualquer forma, enquadrando-se, para efeito de importação, no código 4011 da Tarifa Externa Comum-TEC;

III - pneu ou pneumático reformado: todo pneumático que foi submetido a algum tipo de processo industrial com o fim específico de aumentar sua vida útil de rodagem em meios de transporte, tais como recapagem, recauchutagem ou remoldagem, enquadrando-se, para efeitos de importação, no código 4012.10 da Tarifa Externa Comum-TEC;

IV - pneu ou pneumático inservível: aquele que não mais se presta a processo de reforma que permita condição de rodagem adicional.

Art. 3º Os prazos e quantidades para coleta e destinação final, de forma ambientalmente adequada, dos pneumáticos inservíveis de que trata esta Resolução, são os seguintes:

I - a partir de 1º de janeiro de 2002: para cada quatro pneus novos fabricados no País ou pneus importados, inclusive aqueles que acompanham os veículos importados, as empresas fabricantes e as importadoras deverão dar destinação final a um pneu inservível;

II - a partir de 1º de janeiro de 2003: para cada dois pneus novos fabricados no País ou pneus importados, inclusive aqueles que acompanham os veículos importados, as empresas fabricantes e as importadoras deverão dar destinação final a um pneu inservível;

III - a partir de 1º de janeiro de 2004:

a) para cada um pneu novo fabricado no País ou pneu novo importado, inclusive aqueles que acompanham os veículos importados, as empresas fabricantes e as importadoras deverão dar destinação final a um pneu inservível;

b) para cada quatro pneus reformados importados, de qualquer tipo, as empresas importadoras deverão dar destinação final a cinco pneus inservíveis;

IV - a partir de 1º de janeiro de 2005:

a) para cada quatro pneus novos fabricados no País ou pneus novos importados, inclusive aqueles que acompanham os veículos importados, as empresas fabricantes e as importadoras deverão dar destinação final a cinco pneus inservíveis;

b) para cada três pneus reformados importados, de qualquer tipo, as empresas importadoras deverão dar destinação final a quatro pneus inservíveis.

Parágrafo único. O disposto neste artigo não se aplica aos pneumáticos exportados ou aos que equipam veículos exportados pelo País.

Art. 4º No quinto ano de vigência desta Resolução, o CONAMA, após avaliação a ser procedida pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA, reavaliará as normas e procedimentos estabelecidos nesta Resolução.

Art. 5º O IBAMA poderá adotar, para efeito de fiscalização e controle, a equivalência em peso dos pneumáticos inservíveis.

Art. 6º As empresas importadoras deverão, a partir de 1º de janeiro de 2002, comprovar junto ao IBAMA, previamente aos embarques no exterior, a destinação final, de forma ambientalmente adequada, das quantidades de pneus inservíveis estabelecidas no art. 3º desta Resolução, correspondentes às quantidades a serem importadas, para efeitos de liberação de importação junto ao Departamento de Operações de Comércio Exterior-DECEX, do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior.

Art. 7º As empresas fabricantes de pneumáticos deverão, a partir de 1º de janeiro de 2002, comprovar junto ao IBAMA, anualmente, a destinação final, de forma ambientalmente adequada, das quantidades de pneus inservíveis estabelecidas no art. 3º desta Resolução, correspondentes às quantidades fabricadas.

Art. 8º Os fabricantes e os importadores de pneumáticos poderão efetuar a destinação final, de forma ambientalmente adequada, dos pneus inservíveis de sua responsabilidade, em instalações próprias ou mediante contratação de serviços especializados de terceiros.

Parágrafo único. As instalações para o processamento de pneus inservíveis e a destinação final deverão atender ao disposto na legislação ambiental em vigor, inclusive no que se refere ao licenciamento ambiental.

Art. 9º A partir da data de publicação desta Resolução fica proibida a destinação final inadequada de pneumáticos inservíveis, tais como a disposição em aterros sanitários, mar, rios, lagos ou riachos, terrenos baldios ou alagadiços, e queima a céu aberto.

Art. 10. Os fabricantes e os importadores poderão criar centrais de recepção de pneus inservíveis, a serem localizadas e instaladas de acordo com as normas ambientais e demais normas vigentes, para armazenamento temporário e posterior destinação final ambientalmente segura e adequada.

Art. 11. Os distribuidores, os revendedores e os consumidores finais de pneus, em articulação com os fabricantes, importadores e Poder Público, deverão colaborar na adoção de procedimentos, visando implementar a coleta dos pneus inservíveis existentes no País.

Art. 12. O não cumprimento do disposto nesta Resolução implicará as sanções estabelecidas na Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, regulamentada pelo Decreto nº 3.179, de 21 de setembro de 1999.

Art. 13. Esta Resolução entra em vigor na data de sua publicação.