

**CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA DE BOTUCATU  
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM LOGÍSTICA E TRANSPORTES**

**ESTUDO SOBRE A VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DE  
PNEUMÁTICOS INSERVÍVEIS NA MASSA ASFÁLTICA NO  
MUNICÍPIO DE BOTUCATU**

**RODRIGO LUIZ GOMES FUMIS**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado à FATEC - Faculdade  
de Tecnologia de Botucatu, para  
obtenção do título de Tecnólogo  
em Curso de Logística e  
Transportes.

Botucatu - SP  
Junho - 2008

**CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA DE BOTUCATU  
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM LOGÍSTICA E TRANSPORTES**

**ESTUDO SOBRE A VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DE  
PNEUMÁTICOS INSERVÍVEIS NA MASSA ASFÁLTICA NO  
MUNICÍPIO DE BOTUCATU**

**RODRIGO LUIZ GOMES FUMIS**

Orientador: Prof. Adolfo Alexandre Vernini

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado à FATEC - Faculdade  
de Tecnologia de Botucatu, para  
obtenção do título de Tecnólogo  
em Curso de Logística e  
Transportes.

Botucatu - SP  
Junho - 2008

## AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus Pais por todo o suporte e incentivo para a realização desse trabalho e a meu Tio Luiz Carlos pelo auxílio na execução deste estudo.

Agradeço ao Professor Dr. Ieoshua Katz por toda a atenção e auxílio prestado durante este estudo, pois sem seu auxílio seria impossível a realização do mesmo.

Agradeço ao Professor Dr. Luis Fernando Nicolosi Bravin pelo auxílio neste estudo.

Agradeço ao Professor Dr. Celso Joaquim Fernandes Júnior pela oportunidade de estágio na empresa Kroma Equipamentos Especiais Ltda, e também no auxílio da delimitação do tema desse estudo.

Agradeço a Professora Msc. Bernadete Rossi Barbosa Fantin pela supervisão e oportunidade de estágio no Departamento de Engenharia de Tráfego de Botucatu.

Agradeço ao Professor Adolfo Alexandre Vernini pela orientação na execução desse estudo.

Agradeço as Secretarias do Meio Ambiente e Obras que auxiliaram na execução desse estudo.

Agradeço aos meus Amigos da VII Turma do Curso de Tecnologia em Logística e Transportes pelo companheirismo.

Agradeço a empresa Greca Asfaltos pelo apoio.

Agradeço a todos os Coordenadores, Professores e Funcionários da Faculdade de Tecnologia de Botucatu pelo carinho que desempenham suas funções.

“Na natureza nada se cria, nada se perde, tudo se transforma.”  
Antonie Laurent Lavoisier (1789)  
(1743-1794)

## SUMÁRIO

	Página
Lista de Figuras.....	VII
Lista de Tabelas.....	IX
Resumo.....	X
1. Introdução.....	01
1.1 Objetivos .....	02
1.2 Justificativa.....	02
2. Revisão de Literatura.....	04
2.1 Alternativa ambiental.....	04
2.2 Formas de reutilização dos pneumáticos inservíveis.....	05
2.3 Logística Reversa.....	07
2.4 Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos (ANIP).....	09
2.5 Pneumáticos.....	15
2.6 Asfalto Ecológico.....	17
2.7 Coleta dos pneumáticos inservíveis e transporte até o ponto de armazenagem.....	25
3. Estudo de Caso.....	27
3.1 Município de Botucatu.....	27
3.2 Localização das empresas do ramo de pneumáticos.....	28
3.3 Armazenagem dos pneumáticos inservíveis descartados no Aterro Sanitário de Botucatu.....	30
4. Material e Métodos.....	34
5. Resultados e Discussão.....	35
5.1 Demanda de pneumáticos inservíveis gerados no Município de Botucatu.....	35
5.2 Destinação dos pneumáticos inservíveis no Município de Botucatu pelas empresas do ramo.....	37
5.3 Cálculo do volume ocupado por cada tipo de pneumático.....	40
5.3.1 Cálculo do volume ocupado pelos pneumáticos para motos.....	41
5.3.2 Cálculo do volume ocupado pelos pneumáticos para carros.....	42
5.3.3 Cálculo do volume ocupado pelos pneumáticos para caminhões.....	43
5.3.4 Cálculo do volume mensal ocupado por todos os pneumáticos inservíveis gerados no Município de Botucatu.....	44
5.4 Cálculo do volume mensal ocupado pelos pneumáticos inservíveis gerados por cada empresa legalmente estabelecida no Município de Botucatu.....	44

5.5 Cálculo do veículo para realizar a coleta dos pneumáticos inservíveis e das despesas operacionais.....	48
5.6 Cálculo da coleta dos pneumáticos inservíveis nas empresas do ramo com destino ao Aterro Sanitário.....	50
5.7 Cálculo do galpão para armazenamento dos pneumáticos dentro do aterro sanitário.....	54
5.8 Maquinários para realização do processamento dos resíduos.....	57
5.8.1 Capacidade produtiva da planta de reciclagem de pneumáticos e do triturador modelo TBS 800 x 1300.....	58
6. Conclusão.....	60
7. Referências Bibliográficas.....	61
8. Apêndice 1.....	64
Apêndice 2.....	68
Apêndice 3.....	70
Apêndice 4.....	72

## Lista de Figuras

Figura		Página
1	Processo de recauchutagem.....	06
2	Borracha pulverizada ou granulada.....	07
3	Caminhão descarregando os pneumáticos inservíveis no centro de processamento	08
4	Ciclo dos pneumáticos inservíveis destinados aos Ecopontos.....	11
5	Processo de extração da malha de aço de um pneumático inservível de caminhão.	12
6	Sapato aplicando a borracha no solado.....	13
7	Emprego das placas de borrachas em revestimentos industriais.....	13
8	Unidade de trituração – pneumáticos inservíveis ainda não moídos.....	14
9	Unidade de trituração – pneumáticos inservíveis já triturados.....	14
10	Pneumáticos inservíveis triturados.....	14
11	Trechos com pavimentação ecológica na África do Sul na década de 80 .....	15
12	Estrutura representativa de um pneumático para veículo de pequeno porte.....	16
13	Charles Mac Donald aplicando a mistura asfáltica no ano de 1963.....	18
14	Situação física do trecho experimental desenvolvido por Charles Mac Donald após um ano de aplicação (1964).....	18
15	Estrutura representativa do pavimento convencional.....	19
16	Estrutura representativa do pavimento com adição de borracha vulcanizada.....	19
17	Aplicação da massa asfáltica contendo borracha de pneumáticos inservíveis.....	22
18	Processo de compactação inicial do pavimento de borracha com rolo vibratório...	23
19	Processo de compactação final do pavimento de borracha com rolo vibratório.....	23
20	Termômetro digital do tipo Gulterm 180 medindo a temperatura de aplicação da massa asfáltica contendo borracha de pneumáticos inservíveis.....	24
21	A) Técnico realizando a medição da temperatura de aplicação da massa asfáltica contendo borracha de pneumáticos inservíveis com o auxílio de um termômetro de mercúrio; B) Detalhe do termômetro de mercúrio realizando a medição da massa asfáltica.....	24
22	Coleta de pneumáticos inservíveis no Município de Charqueadas (RS) realizada pela população com o auxílio de um trator.....	25
23	Coleta de pneumáticos inservíveis nos Municípios de: A) Tatuí (SP), Bento Gonçalves (RS), C) São Luís do Maranhão (MA), D) Cidreiras (RS), E) Eldorado do Sul (RS).....	26

24	Evolução das melhorias no Aterro Sanitário do Município de Botucatu.....	30
25	Armazenagem dos pneumáticos inservíveis dentro do galpão no Aterro Sanitário do Município de Botucatu (Foto 01).....	30
26	Armazenagem dos pneumáticos inservíveis dentro do galpão no Aterro Sanitário do Município de Botucatu (Foto 02).....	31
27	Armazenagem dos pneumáticos inservíveis dentro do galpão no Aterro Sanitário do Município de Botucatu (Foto 03).....	31
28	Armazenagem dos pneumáticos inservíveis na parte externa do galpão no Aterro Sanitário do Município de Botucatu.....	32
29	Vista frontal e lateral dos pneumáticos para motos.....	41
30	Vista frontal e lateral dos pneumáticos para carros.....	42
31	Vista frontal e lateral dos pneumáticos para caminhões.....	43
32	Volume mensal de pneus do Tipo A (motos).....	46
33	Volume mensal de pneus do Tipo B (carros).....	46
34	Volume mensal de pneus do Tipo C (caminhões).....	47
35	Volume mensal total gerado por cada empresa.....	47
36	Modelo F 1000 Super Diesel – Marca Ford – Ano 1993 (com exemplo dimensional de estrutura metálica).....	48
37	A) Galpão modelo Macrogalpão® Lite 10, em processo de montagem, B) Galpão modelo Macrogalpão® Lite 10, vista interna, C) Galpão modelo Macrogalpão® Lite 10, vista externa.....	55
38	Dimensões do Galpão modelo Macrogalpão® Lite 10.....	56
39	A) Destaque do triturador para pneumáticos inservíveis modelo TBS 800 x 1300 (Empresa Bruno Industrial); B) Triturador para pneumáticos inservíveis modelo TBS 800 x 1300 (Empresa Bruno Industrial) sobre plataforma.....	58

## Lista de Tabelas

Tabela	Página
1	Composição química média de um pneumático..... 16
2	Comparativo entre a composição química dos pneumáticos dos automóveis e caminhões..... 17
3	Temperaturas para os diferentes processos com a pavimentação ecológica..... 23
4	Lista das empresas do ramo de pneumáticos legalmente cadastradas no Município de Botucatu..... 29
5	Quantidade mensal de cada tipo de pneumáticos inservíveis gerados por cada empresa no Município de Botucatu..... 36
6	Destinação final dos pneumáticos inservíveis pelas empresas do ramo no Município de Botucatu..... 38
7	Gastos mensais com o transporte dos pneus inservíveis até o destino final..... 39
8	Custos mensais fixos para um veículo Marca Ford - Modelo F 1000 Super Diesel – Ano de Fabricação 1993..... 50
9	Relação entre a capacidade cúbica do veículo e a demanda gerada de pneumáticos por cada empresa legalmente estabelecida (m <sup>3</sup> ), gerando o número de coletas em cada empresa..... 51
10	Divisão das coletas junto às empresas legalmente estabelecidas e geradoras de pneumáticos inservíveis..... 52
11	Custos mensais variáveis para um veículo Marca Ford - Modelo F 1000 Super Diesel – Ano de Fabricação 1993 percorrendo 219,1 km / mês..... 53

## RESUMO

O presente trabalho é um estudo sobre a logística reversa da borracha de pneumáticos inservíveis, gerados no município de Botucatu, empregando-os moídos na massa asfáltica evitando que os mesmos sejam depositados em terrenos abandonados, riachos, córregos, entre outros, ocasionando diversos problemas para a saúde pública e para o meio ambiente.

Neste estudo conclui-se que devido ao alto valor para a implantação de uma planta para processamento de pneumáticos inservíveis e também pela baixa demanda gerada pelas empresas legalmente estabelecidas, torna-se inviável a implantação da mesma. Contudo é viável a destinação final ecologicamente correta para os pneumáticos inservíveis, por meio da execução de coletas nas empresas do ramo e a implantação de um galpão fechado para armazenagem (junto ao Aterro Sanitário Municipal) dos pneumáticos inservíveis coletados, para que assim a Prefeitura Municipal de Botucatu sele o vínculo junto a RECICLANIP, cabendo ao Município a realização das atividades de coleta e armazenagem até o recolhimento por empresa credenciada junto a RECICLANIP.

**Palavras chave:** pneumáticos inservíveis; pavimentação ecológica; logística reversa; massa asfáltica.

## 1. INTRODUÇÃO

Normalmente, um produto é desenvolvido e fabricado para que siga uma determinada cadeia de suprimentos, partindo dos fornecedores de matéria-prima até o consumidor final. Todavia tornou-se uma obrigação por parte dos fabricantes de alguns tipos de produtos, ficarem responsáveis pelo retorno e reciclagem de parte desses produtos que já cumpriram com todas as etapas da cadeia e chegaram ao seu ponto final. Para esse procedimento denomina-se logística reversa.

Por se tratar de uma denominação nova, a logística reversa busca estudar os fluxos de materiais que vão do utilizador final do bem integrante do processo logístico até o retorno ao fabricante ou instituição por ele denominada para que faça o reaproveitamento do bem inicialmente comercializado e o reinsira sem causar danos ao meio ambiente e a saúde pública.

Com o enorme aumento da responsabilidade ambiental de que se construa uma “sociedade descartável” tornou-se notória a necessidade de alternativas para a incineração de resíduos e dos aterros sanitários, utilizando processos industriais para devolver os produtos já consumidos ao meio ambiente de forma inerte (MOURA, 2003).

Devido ao desenvolvimento da indústria automobilística durante o século XX, o consumo de pneumáticos atingiu números inimagináveis. Após o seu desgaste natural, os pneumáticos passam para sua fase final recebendo a denominação de pneus-resíduos ou pneumáticos inservíveis. Por não possuírem um destino certo, muitos são descartados em lugares inapropriados auxiliando na proliferação de mosquitos e outros vetores de doenças, colocando em risco a vida dos integrantes da sociedade e contaminando o meio ambiente.

Por ter em sua composição química elementos de fácil combustão, os pneumáticos podem causar incêndios de difícil controle em aterros sanitários e produzir enormes quantidades de fumaça tóxica eliminando dióxido de enxofre, sendo o aterro seu principal destino

na atualidade. Desta forma quando eliminado o dióxido de enxofre, podendo este causar contaminação ao solo, lençol freático e ao ar (GRECO, 2006).

Baseando-se em muitos dos fatores anteriormente citados, o Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), por meio da Resolução N°. 258 de 26 de agosto de 1999 a qual entrou em vigor em janeiro de 2002 (Apêndice 1), determina que os fabricantes e importadores de pneumáticos e de veículos devem reciclar parte dos pneumáticos que já foram utilizados pelos consumidores para que assim possam inserir pneumáticos novos no mercado. Levando-se em consideração esses aspectos, em meados do ano 2000 iniciou-se em alguns estados da região sul e sudeste, principalmente nos estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Rio Grande do Sul, estudos sobre a utilização dos pneumáticos inservíveis na massa asfáltica. Dessa maneira foi encontrada no meio rodoviário uma parceria para o emprego desse material reciclado minimizando assim esse problema ambiental e melhorando as propriedades da massa asfáltica.

Para que esses pneumáticos inservíveis sejam utilizados na massa asfáltica é necessário que passem por um processo de separação do aço e da borracha por meio de uma máquina destalonadora, em seguida esses pneumáticos são triturados em um triturador específico para o processamento destes resíduos sendo este processo denominado como trituração e moagem, pois na massa asfáltica apenas emprega-se a borracha triturada. Para agregar esse pó de borracha de pneumáticos existem dois processos distintos, o processo seco e o úmido.

## **1.1 OBJETIVOS**

Este estudo consistiu em analisar a viabilidade da utilização e da destinação ecologicamente correta dos pneumáticos inservíveis gerados no município de Botucatu, processando-os e adicionando-os moídos a massa asfáltica evitando a sua deterioração e contaminação junto ao meio ambiente e melhorando as propriedades físicas da massa asfáltica. Foi realizada uma análise econômica financeira sobre os custos envolvidos na coleta, armazenagem e processamento dos pneumáticos inservíveis obtendo-se a borracha moída para ser adicionada ao ligante asfáltico, a qual será apresentada para a Prefeitura Municipal de Botucatu.

## **1.2 JUSTIFICATIVAS**

De acordo com o que foi apresentado em outros estudos, o custo do uso de pneumáticos inservíveis na massa asfáltica mostrou-se mais elevado do que o método tradicional, devido ao processo logístico de coleta, armazenagem e também da moagem da borracha e

separação do aço (maquinários importados e de alto valor para implantação). No entanto segundo comparativo realizado com diversos trechos de pavimentação tradicional, constatou-se que este tipo de pavimento ecológico possui uma durabilidade maior, oscilando entre 30% até 50%, variação devido ao fluxo de veículos no ponto aplicado. Além da durabilidade, o pavimento ecológico apresenta uma redução significativa do ruído atingindo uma redução de até 80% e o seu principal objetivo que é uma destinação ecologicamente correta para o problema dos pneumáticos inservíveis descartados na natureza, os quais colaboram para a proliferação de mosquitos e demais transmissores de doenças podendo causar inúmeras vítimas fatais.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 Alternativa ambiental**

A borracha na atualidade, um material de demasiada importância na engenharia moderna, já era conhecida desde os primórdios das civilizações pré-colombianas. Por possuírem inúmeras qualidades tais como, fácil modelagem, alta flexibilidade, e resistência à permeabilidade, tornando-a de suma importância em várias áreas (ORSI, 2006).

Durante as primeiras décadas do século XIX, o norte-americano Charles Goodyear acidentalmente colocou sobre o fogo um pouco de enxofre e borracha e notou que os dois materiais adquiriram uma consistência mais sólida do que em seu estado normal, a partir deste momento teve-se o início aos primeiros passos no desenvolvimento do processo de vulcanização. Esse processo de vulcanização consiste na adição do elemento enxofre a borracha sob altas temperaturas.

Ainda segundo o autor, utilizando-se dos infinitos empregos da borracha, os irmãos Michelin em 1845, patentearam o pneumático com a finalidade de uso em veículos de tração animal, que posteriormente seriam utilizados por veículos automotores. Em seguida no ano de 1847, Robert Thompson introduz uma câmara com ar dentro dos pneumáticos o que auxiliaria no conforto dos veículos evitando as trepidações e aumentando a segurança na frenagem.

Devido à explosão da indústria automobilística durante o século XX fez-se necessária a expansão da pavimentação das vias em todo o mundo. Vários tipos de massas asfálticas foram desenvolvidas ao longo do tempo. Contudo nas últimas décadas tentou-se buscar uma forma de unir-se a necessidade de utilizar os pneumáticos inservíveis e a pavimentação.

Na atualidade consideram-se como pneumáticos os artefatos infláveis formados por borracha e com reforços na sua parte interna para sustentação na utilização em

veículos automotores, tração animal e tração humana (ORSI, 2006).

Independentemente de sua expressiva utilidade e necessidade nos transportes realizados na atualidade, os pneumáticos por serem constituídos de vários elementos químicos nocivos tornaram-se um produto não biodegradável além de serem um dos principais focos de proliferação de mosquitos e outros transmissores de doenças devido sua incorreta destinação final em córregos, lagos e lagoas.

Segundo Orsi (2006), a partir da destilação do petróleo bruto obtém-se o betume que é utilizado como um emulsor de uma mistura entre pedra, concreto e metal que gera um intenso poder de coesão, insolubilidade, e isolante térmico além de acústico.

Com a utilização da borracha proveniente dos pneumáticos reciclados na massa asfáltica, diminui-se o risco de trincas e fissuras em baixas temperaturas e mantém a estabilidade da estrutura em altas temperaturas.

Ainda segundo o autor, além das propriedades de aumento na resistência e diminuição do nível de ruídos, agregar borracha oriunda de pneumáticos na massa asfáltica confere uma maior resistência às intempéries. Não bastassem as qualidades já citadas, a utilização da borracha na massa asfáltica acarreta em uma diminuição da demanda do betume o qual é oriundo do petróleo sendo este uma fonte de energia não renovável.

Entre os modais existentes, o modal rodoviário é o que causa maior impacto ao meio ambiente, seja pela poluição do ar por meio da combustão dos veículos movidos a combustão, como pela poluição dos solos através dos resíduos sólidos incorretamente descartados, tais como os pneumáticos inservíveis, materiais plásticos e outros. Juntamente com o desenvolvimento dos meios de transportes, houve um desenvolvimento de novas tecnologias em peças que empregavam materiais contaminantes a fim de evitar a contaminação do meio ambiente tanto durante o seu uso como também no seu descarte, como no caso do emprego dos pneumáticos na massa asfáltica (ORSI, 2006).

## **2.2 Formas de reutilização dos pneumáticos inservíveis**

Os pneumáticos por apresentarem um baixo grau de compactação e uma lenta degradação, aproximadamente 600 anos, tornam-se assim materiais de difícil descarte e de fácil contaminação ambiental (GRECO, 2006).

Como medidas para evitar o descarte junto ao meio ambiente, seria necessário o aumento da vida útil dos pneus e também o melhoramento das técnicas de recauchutagem. No processo de recauchutagem, aplica-se uma nova camada de borracha sobre a antiga faixa de

rodagem, aproveitando-se da carcaça do pneu duplicando assim a sua vida útil. Em um processo de recauchutagem emprega-se no máximo 30 % de borracha, por meio dessa camada que é aplicada sobre a antiga carcaça, como apresentado na Figura 1, no caso dos pneus que não apresentam características apropriadas para este tipo de processo acabam sendo descartados e transformando-se nas pilhas de pneumáticos inservíveis, conforme afirma a autora.



Figura 1. Processo de recauchutagem.

Fonte: MARTINS, H. A. F. (2004)

Contudo o grande problema dos pneumáticos é que após um determinado período de uso se transformarão em pneus resíduos, transformando-se em um bem potencialmente danoso à natureza e à saúde pública. Sendo assim torna-se necessária a criação de uma destinação final adequada após o seu uso pela cadeia consumidora.

Greco (2006) cita que os pneumáticos inservíveis podem ser usados como fonte geradora de combustível em fábricas produtoras de celulose e papel, usinas termelétricas e fornos de cimento, contudo cabe ressaltar que essa destinação causa riscos ambientais, pois com a queima do material ocorre o desprendimento de gases tóxicos como o dióxido de enxofre e sendo que esse tipo de destinação requer emprego de diversos equipamentos para o controle das emissões o que acaba elevando o custo do processo.

A autora enfatiza que, o pneumático por possuir um caráter heterogêneo e já ter passado pelo processo de vulcanização, torna-se complexo o processo de desvulcanização, pois os pneumáticos inservíveis contêm uma grande quantidade de fibras o que dificulta o processo de separação dos diversos materiais constituintes, podendo-se reutilizar os pneumáticos inservíveis através do seu processo de moagem e trituração transformando-os em pequenos pedaços de borracha obtendo-se assim a borracha pulverizada ou granulada como apresentado na Figura 2,

podendo ser esta agregada na fabricação de tapetes automotivos, revestimentos de pistas e quadras esportivas, e misturas asfálticas.



Figura 2. Borracha pulverizada ou granulada.

Fonte: Deliberato et al. (2008).

De acordo com estudos realizados em diversos trechos, obteve-se que cada quilômetro da pavimentação ecológica pode consumir entre 1.600 até 4.800 pneumáticos inservíveis. Levando em conta a utilização desse tipo de pavimento em 4.000 km de rodovias, anualmente, teríamos um consumo de pneumáticos inservíveis variando entre 6 a 19 milhões de peças incorporadas nesta pavimentação. O qual atingiria valores próximos ao descarte anual realizado no país. A proporção máxima normalmente adicionada de borracha triturada oriunda de pneumáticos é de 15 %, ou seja, para cada tonelada de massa asfáltica agrega-se até 150 kg de borracha triturada de pneumáticos inservíveis (GRECO, 2006).

### **2.3 Logística Reversa**

Com o enorme aumento da responsabilidade ambiental de que se construa uma “sociedade descartável” tornou-se notória a necessidade de alternativas para a incineração de resíduos e descartes em aterros sanitários, utilizando processos industriais para devolver os produtos já consumidos ao meio ambiente de forma inerte (MOURA, 2003).

Devido às infinitas oportunidades de reutilização dos produtos que realizam o caminho reverso, partindo dos consumidores finais para os fabricantes, a administração deste fluxo é de interesse do campo da logística reversa.

O autor ainda afirma que, vários países estão aumentando o rigor de suas legislações ambientais obrigando os fabricantes a receberem os seus produtos depois de serem utilizados pelos consumidores finais. Numa outra vertente a imagem de empresa “verde” vem sendo empregada como forma de marketing positivo para as empresas que empregam esse tipo de cultura.

Em muitos dos casos, tais como nas latas constituídas de alumínio, o valor ainda incorporado é alto, alavancando assim a motivação econômica de sua recuperação sendo um material altamente reciclado. O enfoque da recuperação desses produtos após o término da cadeia de suprimentos pode estar na recuperação do material ou sua embalagem.

Segundo Moura (2003), os aspectos de planejamento e distribuição dizem respeito a uma primeira área da logística reversa, porque os produtos já utilizados necessitam ser coletados e transportados para o local no qual serão processados e transformados em matérias-primas iniciais, as quais gerarão os mesmos produtos anteriormente comercializados como no caso das garrafas plásticas e ou transformados simplesmente em matérias-primas, como os pneumáticos inservíveis triturados que serão empregados em tapetes automotivos ou massa asfáltica. A Figura 3 apresenta o descarregamento de pneumáticos inservíveis no centro de processamento, no qual sofrerão os processos de destalonamento, picotagem e moagem.



Figura 3. Caminhão descarregando os pneumáticos inservíveis no centro de processamento.  
Fonte: MARTINS, H. A. F. (2004)

A localização apropriada dos centros de triagem e processamento, são de fundamental importância para o processo reverso. As redes de distribuição reversa em sua maioria possuem uma estruturação convergente, ou seja, partem de vários pontos que são os pontos de consumo, para poucos centros de processamento. As rotas de coletas são decisivas para o fluxo da distribuição reversa. Problemas com a rota de coleta devem ser resolvidos para que a distribuição reversa seja integrada. De acordo com o autor, deve-se observar que a integração da distribuição normal e a reversa é um fator de crucial importância para o volume transportado adicional e para a avaliação geral ambiental da sua reutilização (MOURA, 2003).

O autor conclui que, novas questões logísticas são geradas pela reutilização de produtos e materiais na produção industrial, pois cada produto necessita de um tipo de coleta específica em local específico além das questões de transporte e armazenagens. Sendo necessária a integração entre a logística convencional e a reversa acrescentando complexidade ao processo devido ao retorno dos bens já consumidos.

#### **2.4 Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos (ANIP)**

Devido ao desenvolvimento da indústria automobilística durante o século XX, o consumo de pneumáticos atingiu números inimagináveis. Após o seu desgaste natural, os pneumáticos passam para sua fase final recebendo a denominação de pneus-resíduos ou pneus inservíveis. Por não possuírem um destino certo, muitos são descartados em lugares inapropriados auxiliando na proliferação de mosquitos e outros vetores de doenças, colocando em risco a vida dos integrantes da sociedade.

Em 1960, ocorre no Brasil a fundação da Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos (ANIP) sendo uma entidade civil sem fins lucrativos onde participam todas as instituições produtoras de pneumáticos novos e câmaras de ar, estabelecidas no país desde 1936. Constituindo-se atualmente de 14 fábricas divididas em: 07 no Estado de São Paulo, 02 no Estado do Rio de Janeiro, 02 no Estado do Rio Grande do Sul, 02 no Estado da Bahia e 01 no Estado do Paraná. O total de empregos diretos gerados por essas 14 fábricas é de aproximadamente 25 mil empregos diretos e 150 mil indiretos. Segundo a ANIP os investimentos gerados por elas juntas no período de 2004 a 2007 ultrapassou a marca de US\$ 1,2 bilhão.

Segundo dados da ANIP o volume da produção de pneumáticos no Brasil atingiu 54,5 milhões de unidades no ano de 2006, mantendo uma reta ascendente levando em consideração que o volume produzido em 2004 foi de 52 milhões e em 2005 foi de 53,3 milhões de peças aproximadamente.

Dos 54,5 milhões de pneumáticos produzidos no ano de 2007, 40,9% destinou-se para o mercado de reposição e de revendas; para exportação foram destinados 32,7% e 26,4% para as montadoras automobilísticas.

No ano de 2007, a ANIP criou a RECICLANIP baseando-se na Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), por meio da Resolução N°. 258 de 26 de agosto de 1999 a qual entrou em vigor em janeiro de 2002, determinando aos fabricantes e importadores de pneumáticos, a reciclagem de parte dos pneumáticos que já foram utilizados pelos consumidores para que assim possam inserir pneumáticos novos no mercado.

A missão da RECICLANIP é assegurar que o processo de coleta e destinação dos pneus inservíveis em todas as regiões do território nacional seja sustentável, atuando com a responsabilidade social, ambiental e econômica. Para cumprir a missão foram criadas ações estratégicas tais como, realizar a estruturação da rede de coleta com a participação dos revendedores e reformadores, o poder público e a sociedade brasileira, além de apoiar os estudos sobre o ciclo de vida dos pneumáticos e o estímulo a novas formas de destinação dos pneus inservíveis e desenvolvimento juntamente com o poder público de programas e ações de conscientização social.

Ainda segundo a ANIP, o programa de coleta e destinação de pneumáticos inservíveis iniciou-se em 1999, cujo foi responsável até o ano de 2006 pela destinação ecologicamente correta de 700 mil toneladas de pneumáticos inservíveis, correspondendo a aproximadamente 140 milhões de pneumáticos automotivos. Durante este período os investimentos com logística, equipamentos e divulgação do projeto superaram a ordem dos US\$ 37 milhões.

Para a coleta dos pneumáticos inservíveis no território brasileiro, foram desenvolvidos os Ecopontos que são locais disponibilizados pelas prefeituras municipais, celebrando convênios de cooperação mútua com a ANIP. Esses Ecopontos são os locais para onde são levados os pneumáticos inservíveis recolhidos pelo poder público como também descartados de forma voluntária pela população, lojas especializadas e representantes do ramo. Nos Ecopontos os pneumáticos inservíveis ficam armazenados de maneira temporária até serem retirados pelos parceiros ao programa sob o controle da ANIP para garantir a destinação final adequada. Até os dias atuais foram criados 311 Ecopontos distribuídos em 22 Estados Brasileiros e o Distrito Federal, com destaque para os Estados de Minas Gerais e São Paulo, que apresentam respectivamente 108 e 60 Ecopontos.

Conforme apresentado pela RECICLANIP, Municípios Limítrofes como Avaré, Pratânia e São Manuel e também Municípios da região de Botucatu como Barra Bonita, Bauru, Jaú e Lençóis Paulista, já estão credenciados a RECICLANIP e participam do programa de coleta possuindo o ECOPONTO em seus Municípios. A Figura 4 apresenta o ciclo dos pneumáticos inservíveis desde as borracharias, passando pelo Ecopontos e pelas etapas de transporte até os centros de processamento.



Figura 4. Ciclo dos pneumáticos inservíveis destinados aos Ecopontos.  
 Fonte: Deliberato et al. (2008).

Conforme a ANIP, os pneus inservíveis em quase sua totalidade não atingem características suficientes para a realização da recauchutagem e também devido ao processo de vulcanização torna-se impossível a realização de pneumáticos novos por meio dos inservíveis.

São várias as possibilidades de destinação ecologicamente correta fornecidas pela ANIP, entre elas temos o co-processamento que consiste na utilização desses materiais como combustível alternativo em fornos de cimentarias em substituição ao carvão coque, porque o calor líquido gerado pela queima dos pneumáticos inservíveis é semelhante ao atingido pela queima do carvão coque. Todavia outros estudiosos citam que a queima de tal material elimina gases tóxicos como, por exemplo, o dióxido de enxofre sendo necessária a implantação de sistemas de filtração desses gases anterior a sua eliminação ao meio ambiente.

A ANIP ainda cita que é possível realizar a extração da malha de aço que recobre toda a banda de rodagem dos pneumáticos para que o mesmo seja comercializado para empresas siderúrgicas. Depois de retirada dos pneumáticos a malha de aço é separada e aglomerada para que seja destinada para as empresas de siderurgia (Figura 5). Leite (2003) expõe que a Agência Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) normatiza o aço como sucata devido sua alta reciclabilidade. Essas normas permitem concluir vários aspectos importantes do canal reverso, tais como, os tipos, a qualidade, os sistemas de embalagem e acondicionamento, a limpeza, a forma de preparação, características físicas, como também as formas de comércio do setor.



Figura 5. Processo de extração da malha de aço de um pneumático inservível de caminhão.  
Fonte: Deliberato et al. (2008).

Outro processo é a Pirólise, que consiste na decomposição química por meio calorífico na ausência do elemento químico oxigênio. Os resíduos para a alimentação do reator pirolítico que realizam esse processo, podem ser originários do lixo doméstico, resíduos industriais e plásticos. Existem diversos tipos de reatores pirolíticos, cada um realiza a extração de um determinado subproduto dos resíduos por eles processados.

Os pneumáticos inservíveis também podem passar pelo processo de regeneração ou desvulcanização, sendo que neste os resíduos sofrem modificações para transformá-los mais plásticos e assim poderem receber um novo processo de vulcanização. Contudo as borrachas oriundas dos pneumáticos inservíveis que passam por esse processo acabam perdendo as suas propriedades originais sendo assim não é possível obter novos pneumáticos. Esses materiais desvulcanizados são agregados à borracha crua para produzir outros artefatos, podendo ser utilizados na recauchutagem dos pneumáticos e como aditivo em peças plásticas conferindo-lhes maior elasticidade, entre outros.

Conforme cita a ANIP, Uma pequena parcela dos pneumáticos inservíveis é destinada para o processo de laminação que é a utilização de pneumáticos não radiais na fabricação de percintas para as indústrias moveleiras, solas de sapatos, dutos de água, entre outros. Já a empresa Rubberbrás, situada em Minas Gerais, realiza a laminação dos pneumáticos radiais usados transformando-os em pequenas placas que são empregadas em revestimentos industriais. Na Figura 6, é apresentada a aplicação da lâmina de borracha em um calçado e a Figura 7, a aplicação das placas nos revestimentos industriais realizados pela empresa Rubberbrás.



Figura 6. Sapato aplicando a borracha no solado.  
Fonte: Deliberato et al. (2008).



Figura 7. Emprego das placas de borrachas em revestimentos industriais.  
Fonte: Deliberato et al. (2008).

Ainda segundo a ANIP, os pneumáticos inservíveis depois de triturados e separadas as partes constituídas de aço e borracha, podem ser agregadas a massa asfáltica na forma de pó, como apresentado nas Figuras 8, 9 e 10, as quais apresentam os pneumáticos na esteira do equipamento de moagem, os pedaços já triturados saindo também por meio de esteiras e uma amostra do tamanho dos pedaços obtidos após o processo comparando-os com uma caneta. Sendo esses equipamentos básicos para a realização do processamento desses resíduos. Contudo após esses processos a borracha é separada por meio de uma peneira classificatória e armazenada em silos até a sua destinação para o processo de adição à massa asfáltica.



Figura 8. Unidade de trituração – pneumáticos inservíveis ainda não moídos.  
Fonte: Deliberato et al. (2008).



Figura 9. Unidade de trituração – pneumáticos inservíveis já triturados.  
Fonte: Deliberato et al. (2008).



Figura 10. Pneumáticos inservíveis triturados.  
Fonte: Deliberato et al. (2008).

Conforme informado pela ANIP, são consumidos até 4.600 pneus inservíveis moídos para cada quilômetro de estrada de pista simples. Este emprego tecnológico já é aplicado em países como os Estados Unidos, parte da Europa e África do Sul desde a década de 60. A Figura 11 expõe trechos asfaltados com o emprego da técnica do asfalto com borracha triturada agregada na década de 80.



Figura 11. Trechos com pavimentação ecológica na África do Sul na década de 80.  
Fonte: Greca et al. (2007).

Como apresentado pela RECILANIP, mesmo com a proibição da importação de pneumáticos usados, no ano de 2006 adentraram ao país 7,2 milhões de unidades. Conforme está previsto nas liminares que autorizam a importação com a finalidade de reuso, uma parte destina-se para o processo de reforma, no entanto a grande maioria é vendida no mesmo estado de importação sem sofrer nenhum processo de transformação. Os números de importação totalizaram em 2004 a ordem de 7,6 milhões de unidades, já em 2005 houve um forte aumento chegando em 10,5 milhões de unidades. Devido ao fato de já serem pneumáticos com um estado avançado de uso, isso caracteriza que logo chegarão ao patamar de pneumáticos inservíveis tendo que sofrer algum tipo de processo de recauchutagem ou caso não sejam processados serão abandonados contaminando o meio ambiente. Dessa forma os países desenvolvidos encontram nos países subdesenvolvidos uma forma de descartá-los sem ter o ônus de efetuar o descarte final.

## 2.5 Pneumáticos

Segundo Andrietta (2002), um pneu é formado basicamente por uma mistura de borracha natural e elastômeros (borrachas sintéticas). Para aumentar a resistência mecânica e conferir maior durabilidade à ação dos raios ultravioleta é adicionado a essa mistura o negro de fumo. Após esse processo, essa mistura é espalmada sobre um molde para a realização do processo

de vulcanização, o qual é realizado sob uma temperatura aproximada de 120°C até 160°C, acrescentando-se enxofre, compostos de zinco, e outros ativadores e anti-oxidantes. Posteriormente é embutido sobre o talão um fio de aço o qual se ajusta ao aro da roda, além de uma manta de tecido de nylon para reforçar a carcaça e uma malha de aço nas camadas mais superiores para garantir maior segurança da estrutura. Por fim uma camada de borracha a qual é denominada de banda de rodagem conforme Figura 12. A Tabela 1 apresenta a composição química média de um pneumático.

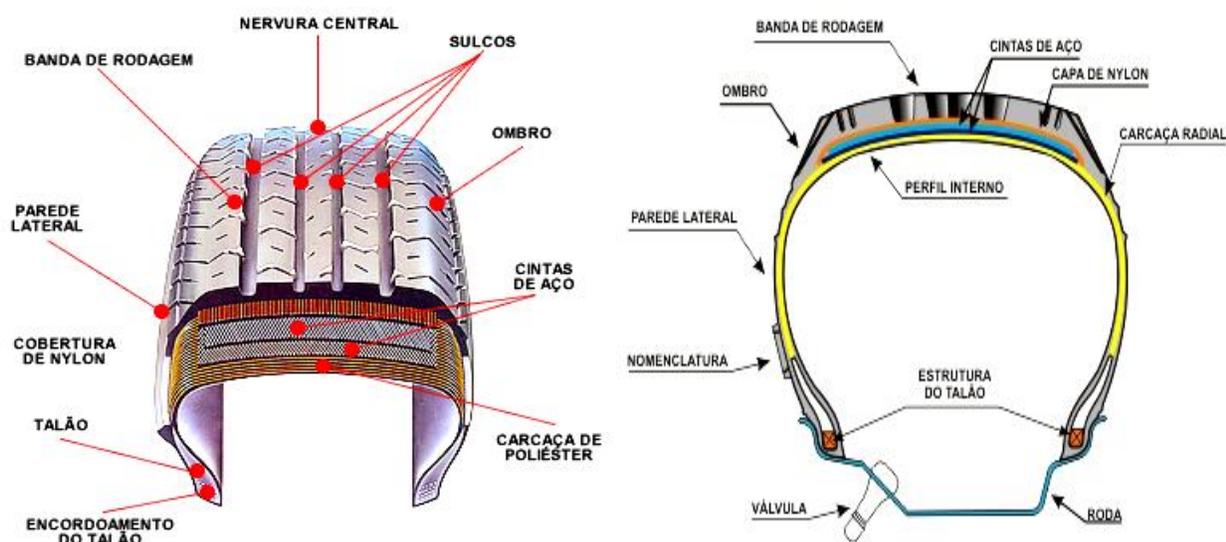


Figura 12. Estrutura representativa de um pneumático para veículo de pequeno porte.  
Fonte: Chen et al. (2008).

Tabela 1. Composição química média de um pneumático.

Elemento Composto	Porcentagem (%)
Carbono	70 %
Ferro	15 %
Hidrogênio	7,0 %
Outros	5,5 %
Enxofre	1,3 %
Óxido de Zinco	1,2 %
Total	100 %

Fonte: Andrietta, A. J (2002).

A Tabela 2 apresenta as diferenças no comparativo da composição química entre os pneumáticos que são utilizados nos automóveis de pequeno porte e nos de grande porte. A constituição do aço nos pneumáticos para os veículos de grande porte é maior do que os de veículos de pequeno porte devido ao seu diâmetro ser maior, conferindo assim uma maior sustentação.

Tabela 2. Comparativo entre a composição química dos pneumáticos dos automóveis e caminhões.

Material utilizado na composição		
química	Automóvel (%)	Caminhão (%)
Borracha e Elastômeros	48 %	45 %
Negro de fumo	22 %	22 %
Aço	15 %	25 %
Tecido de nylon	5 %	0 %
Óxido de zinco	1 %	2 %
Enxofre	1 %	1 %
Aditivos	8 %	5 %
Total	100 %	100 %

Fonte: Andrietta, A. J. (2002).

Conforme Andrietta (2002), em uma tonelada de pneumáticos inservíveis para automóveis pode-se obter aproximadamente 162 pneus, pois o seu peso unitário aproximado oscila de 5,5 kg até 7,0 kg. Já no caso dos pneumáticos inservíveis para caminhões pode-se obter aproximadamente 15 pneus, pois o seu peso unitário aproximado oscila de 55 kg até 80 kg.

## 2.6 Asfalto Ecológico

Segundo Morilha Jr. e Greca (2003), há algumas décadas a utilização de pneumáticos inservíveis na massa asfáltica tem sido notoriamente empregada no exterior em países como Canadá, Austrália, Portugal e com expressividade nos Estados Unidos da América. Nos estados norte-americanos do Arizona, Califórnia e Flórida são inúmeros os projetos e estudos sobre esse tipo de pavimentação.

Dados históricos apontam que a introdução de borracha desvulcanizada na massa asfáltica teve início na década de 40 nos Estados Unidos da América, com a Companhia de Reciclagem de Borracha dos Estados Unidos (United States Rubber Reclaiming Company),

apresentando ao mercado um tipo de pavimento constituído de massa asfáltica e borracha desvulcanizada reciclada que levou a denominação de Ramflex™.

Contudo segundo Morilha Jr. e Greca (2003), o verdadeiro autor da utilização da borracha moída de pneumáticos na massa asfáltica foi Charles Mac Donald, que no ano de 1963 desenvolveu um material com altas propriedades elásticas para ser utilizado na manutenção de pavimentos asfálticos como as trincas. Esse composto era obtido a partir da mistura de ligante asfáltico e 25% de borracha moída de pneumáticos, com pedaços oscilando entre 0,6 mm até 1,2 mm, sendo adicionados a uma temperatura de 190° C durante vinte minutos. As figuras 13 e 14 apresentam Charles Mac Donald aplicando essa mistura de ligante asfáltico e borracha moída em trincas no pavimento no ano de 1963 em um trecho e em seguida o estado da massa depois de um ano de intenso tráfego sobre o trecho experimental, apresentando boa resistência às deformações e intempéries.



Figura 13. Charles Mac Donald aplicando a mistura asfáltica no ano de 1963.  
Fonte: Greca et al. (2007).



Figura 14. Situação física do trecho experimental desenvolvido por Charles Mac Donald após um ano de aplicação (1964).  
Fonte: Greca et al. (2007).

Segundo os autores, a adição de borracha de pneumáticos na massa asfáltica, confere uma melhoria dos ligantes asfálticos, sendo essa técnica considerada uma alternativa para o melhoramento das propriedades dos materiais betuminosos, pois o resultado final apresenta um revestimento com características superiores em comparação às misturas asfálticas convencionais. As Figuras 15 e 16 apresentam a forma esquemática da estrutura do pavimento convencional e a estrutura do pavimento com adição da borracha vulcanizada moída oriunda dos pneumáticos inservíveis. É possível observar que a espessura das massas asfálticas são iguais, somente variando a constituição da última camada, sendo uma com a presença de pneumáticos inservíveis moídos e a outra não.

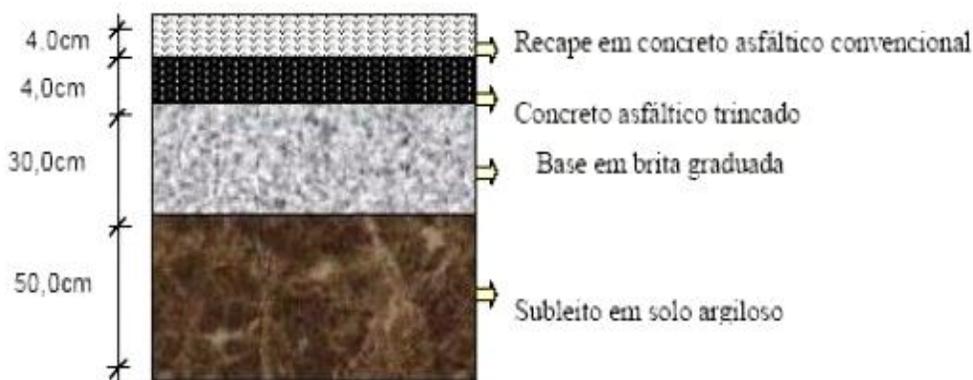


Figura 15. Estrutura representativa do pavimento convencional

Fonte: Ceratti et al. (2006).



Figura 16. Estrutura representativa do pavimento com adição de borracha vulcanizada.

Fonte: Ceratti et al. (2006).

Ainda segundo Morilha Jr. e Greca (2003), um pneumático novo, como o modelo P195/75R14, para veículos de pequeno porte, possui aproximadamente:

- 2,50 kg de 30 diferentes tipos de borracha sintética;
- 2,05 kg de 08 tipos diferentes de borracha natural;
- 2,27 kg de 08 tipos de carbono preto;
- 0,68 kg de aço para o cinturão;
- 0,45 kg de poliéster e nylon;
- 0,23 kg de arame de aço;
- 1,36 kg de 40 tipos diferentes de componentes químicos, ceras, óleos, pigmentos, etc.

Ainda segundo os autores, existem duas formas de incorporação dos pneumáticos inservíveis moídos na massa asfáltica:

- Via Seca: a borracha triturada é acrescentada diretamente no misturador da usina de asfalto, sendo que nesse modo a borracha é acrescentada como um agregado na mistura. Neste, é prejudicada a transferência das propriedades elásticas da borracha ao ligante asfáltico, mesmo sendo possível obter uma mistura homogênea ao término do processo.
- Via Úmida: a borracha triturada é acrescentada anteriormente ao ligante, alterando-o permanentemente, sendo que neste processo a transferência das propriedades elásticas e de resistência são mais efetivas, conferindo ao término do processo um ligante asfáltico mais elástico e mais durável comparado ao pavimento tradicional.

Morilha Jr. e Greca (2003) enfatizam que é necessário mencionar o problema existente entre a compatibilidade do tipo do polímero modificador, a borracha moída dos pneumáticos inservíveis e o ligante tradicional. Para receber a borracha moída de pneumáticos (BMP) é necessário um processo de compatibilidade entre o ligante asfáltico que é normalmente comercializado e a borracha moída. Depois de verificada a compatibilidade, o processo de adição da borracha ao ligante asfáltico é realizado em um reator especial o qual é processado por um processo físico-químico adequado para obter-se uma mistura estável de asfalto de borracha.

Conforme os autores afirmam, são inúmeras as características benéficas da pavimentação ecológica em relação à pavimentação tradicional, as principais são:

- Redução da suscetibilidade térmica: misturas com ligante asfáltico com borracha são mais resistentes às variações de temperatura, ou seja, o seu desempenho tanto em altas como em baixas temperaturas é melhor em comparação aos pavimentos construídos com ligante

convencional;

- Aumento da flexibilidade, devido a maior concentração de elastômeros das borrachas dos pneumáticos;
- Melhor adesividade aos agregados do ligante asfáltico;
- Aumento da vida útil do pavimento;
- Maior resistência ao envelhecimento: por possuir anti-oxidantes e carbono na borracha dos pneumáticos, ocorrendo a redução do envelhecimento por oxidação da massa asfáltica;
- Maior resistência à propagação de trincas e a formação de trilhas de roda;
- Proporciona melhor aderência entre o pneu e o pavimento, diminuindo risco de aquaplanagem;
- Redução do ruído provocado pelo tráfego em até 85%.

Como fator para a redução do envelhecimento da massa asfáltica por meio da utilização da borracha dos pneumáticos considera-se que devido a maior viscosidade encontrada no pavimento ecológico, a espessura da película sobre o agregado é superior a apresentada nos pavimentos tradicionais, conferindo-lhe um menor grau de envelhecimento do ligante durante o seu processo de usinagem.

Ainda como apresentado pelos autores, algumas vantagens socio-ecológicas da pavimentação ecológica como:

- Extermínio de um dos principais focos de proliferação de mosquitos e insetos transmissores de doenças;
- Pela necessidade de empresas que executem o processo de reciclagem da borracha, partindo da coleta até o processo de moagem e trituração, propicia o surgimento e o crescimento de empresas do ramo;
- Levando em consideração o fato do crescimento e surgimento de novas empresas de reciclagem, o setor público por meio de novos empregos diretos e indiretos também seria beneficiado;
- Redução da contaminação e do assoreamento ocasionado pelo indevido descarte dos pneumáticos em rios, lagos, lagoas e bacias;
- Diminuição do risco de incêndios incontrolláveis e também da poluição ocasionada pelo incorreto descarte junto aos aterros sanitários;
- Redução da demanda de petróleo, considerando-se que por realizar a substituição parcial da massa asfáltica pelos pneumáticos inservíveis moídos e também pelo aumento da durabilidade do pavimento ecológico, acarretando na diminuição de petróleo para a obtenção do betume.

Segundo Morilha Jr. e Greca (2003), o transporte e a estocagem do pavimento ecológico devem seguir temperaturas e acondicionamentos adequados para que a massa asfáltica não sofra danos. Sendo assim durante o processo de transporte da massa asfáltica até o local que será aplicada ocorre uma perda insignificante de temperatura, contudo durante o processo de descarga ocorre uma perda calorífica significativa acarretando assim na necessidade de possuir uma caldeira de aquecimento na obra para que a massa asfáltica mantenha assim a temperatura necessária. Essa caldeira de aquecimento sempre deve ser de óleo térmico.

Para que não ocorra a contaminação da massa asfáltica é necessário que o tanque no qual o material será depositado, bem como todo o sistema de alimentação esteja limpo e isento de partículas de outros materiais. A Figura 17 apresenta o processo de aplicação da massa asfáltica contendo borracha de pneus inservíveis moídos em rodovia do Estado de São Paulo.



Figura 17. Aplicação da massa asfáltica contendo borracha de pneumáticos inservíveis.  
Fonte: Deliberato et al. (2008).

Conforme apresentado pelos autores, o método de execução da aplicação da massa asfáltica, assim como o processo de compactação da massa asfáltica na pista, não sofrem modificações comparando-os com a pavimentação tradicional, salvo quanto as alterações nas térmicas de usinagem e compactação.

Ao descarregar do silo para o caminhão de transporte a temperatura máxima recomendada pelo autor é de 177°C, no entanto caso atinga temperaturas superiores é necessária a redução da temperatura dos agregados ou dos ligantes. Para o processo de compactação a temperatura ideal deve oscilar entre 155°C e 160°C, pois quando aplicada temperaturas superiores pode acarretar no aparecimento de ondas à frente do rolo vibratório. A Tabela 3 apresenta as temperaturas ideais para os processos de pavimentação ecológica.

Tabela 3. Temperaturas para os diferentes processos com a pavimentação ecológica.

Temperaturas em ° C e os processos com a massa asfáltica	Temperatura Mínima	Temperatura Máxima
Do ligante, pré usinagem	165°C	177°C
Do agregado, pré usinagem	170°C	177°C
Massa pós usinagem	165°C	175°C
Compactação	155°C	160°C

Fonte: Morilha Jr. e Greca (2003).

No processo de compactação aplica-se uma temperatura de rolagem mais elevada que a mistura asfáltica possa suportar, a qual se inicia com baixa pressão dos rolos vibratórios. Levando-se em conta apenas as diferenças térmicas, o processo de rolagem da massa asfáltica com borracha de pneumáticos moídos é similar ao de outras massas usinadas a quente, como exemplificado nas Figuras 18 e 19, as quais apresentam o processo de compactação inicial e o processo final de rolagem que são realizados pelos mesmos equipamentos do asfalto convencional.



Figura 18. Processo de compactação inicial do pavimento de borracha com rolo vibratório.  
Fonte: Ceratti et al. (2006).



Figura 19. Processo de compactação final do pavimento de borracha com rolo vibratório.  
Fonte: Ceratti et al. (2006).

Como acrescentado pelos autores e apresentado nas Figuras 20 e 21, o monitoramento das temperaturas de campo deve ser constante para que possa identificar o momento ideal para o início do processo de rolagem. Essas medições são geralmente realizadas por meio de termômetros digitais, no entanto muitas empresas ainda empregam os termômetros com haste de mercúrio.



Figura 20. Termômetro digital do tipo Gulterm 180 medindo a temperatura de aplicação da massa asfáltica contendo borracha de pneumáticos inservíveis.  
Fonte: Ceratti et al. (2006).



Figura 21. A) Técnico realizando a medição da temperatura de aplicação da massa asfáltica contendo borracha de pneumáticos inservíveis com o auxílio de um termômetro de mercúrio; B) Detalhe do termômetro de mercúrio realizando a medição da massa asfáltica.

Fonte: Greca et al. (2007).

## 2.7 Coleta dos pneumáticos inservíveis e transporte até o ponto de armazenagem

Conforme informado pela ANIP a coleta e armazenagem dos pneumáticos inservíveis até o recolhimento pela RECICLANIP é realizada pela Prefeitura Municipal, sendo que esta deve armazená-los de acordo com as normas da Companhia Estadual de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (CETESB), em locais fechados evitando o acúmulo de água. O transporte das borracharias até o ponto de armazenagem varia conforme a demanda de cada Município e também das distâncias que os veículos deverão percorrer até o ponto de armazenagem.

Em alguns Municípios como o caso de Charqueadas no Rio Grande do Sul, a própria população auxilia na coleta dos pneumáticos inservíveis com o auxílio de tratores e os destinam até o Ecoponto como apresentado na Figura 22.



Figura 22. Coleta de pneumáticos inservíveis no Município de Charqueadas (RS) realizada pela população com o auxílio de um trator.

Fonte: Mallmann et al (2008).

Contudo em Municípios maiores os caminhões utilizados são proporcionalmente maiores podendo apresentar três ou quatro eixos e proteções laterais (devido ao seu alto fator de estiva) para que seja possível armazenar uma quantidade maior de pneumáticos como os caminhões utilizados pelas Prefeituras Municipais de Tatuí (SP), Bento Gonçalves (RS), São Luís do Maranhão (MA), Cidreiras (RS), Eldorado do Sul (RS), representados na Figura 23.



Figura 23. Coleta de pneumáticos inservíveis nos Municípios de:  
A) Tatuí (SP); B) Bento Gonçalves (RS); C) São Luís do Maranhão (MA); D) Cidreiras (RS); E) Eldorado do Sul (RS).

Fonte: Fumis, R. L. G., Botucatu, SP, 2008.

### **3. ESTUDO DE CASO**

#### **3.1 Município de Botucatu**

Segundo Silva et al. (2008), o nome do Município tem sua origem do Tupi, Ibytu-katu que significa bons ares. Mistérios e lendas que ainda envolvem o Município datam do Período Pré-Cabralino, quando neste período teria sido caminho de passagem para o Peabirú. Sendo esta trilha que ligava o litoral atlântico às terras peruanas. Em 1830, começaram a aparecer os primeiros sinais de crescimento quando alguns fazendeiros decidiram subir a cuesta e povoar as terras ainda não habitadas.

A doação de terras para a criação do Patrimônio da Freguesia de Sant'Anna de Botucatu, realizada pelo Capitão José Gomes Pinheiro Velozo, cuja data considerada para a Fundação do Município foi 23 de dezembro de 1843. Já em 19 de fevereiro de 1846 foi realizada a Criação da Freguesia do Distrito do Cimo da Serra de Botucatu. Já em 14 de abril de 1855, ocorre a elevação da freguesia à categoria de vila e emancipação político-administrativa. A elevação da vila à categoria de cidade ocorreu em 16 de março de 1876.

Ainda segundo o autor, a área quadrada atual aproximada do Município de Botucatu é de 1.486,4 km<sup>2</sup>. Fazendo limite com os Municípios de Anhembi, Bofete, Pardinho, Itatinga, Avaré, Pratânia, São Manuel, Dois Córregos e Santa Maria da Serra.

O Município está em franco desenvolvimento, conforme apresentado pelo autor em estudo realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) o qual aponta uma população de 121.255 habitantes no ano de 2007. Localizada a 224,8 km da Capital do Estado de São Paulo, cuja principal ligação é realizada pelas Rodovias Marechal Rondon e Castelo Branco. Adota-se como marco zero do Município, a Praça Emílio Pedutti.

### **3.2 Localização das empresas do ramo de pneumáticos**

Para a realização da pesquisa, foram levantadas todas as empresas do ramo de pneumáticos (borracharias) cadastradas junto ao ISS da Prefeitura Municipal de Botucatu registradas sob o número de serviço: 83.812, sendo este o órgão municipal competente pelo registro das empresas. Assim neste estudo somente serão consideradas as empresas que estão inscritas junto ao ISS do Município de Botucatu. As informações obtidas junto ao ISS podem ser visualizadas junto a Tabela 4, a qual apresenta as razões sociais, os endereços e os números de Inscrição Municipal. Os dados foram obtidos junto ao ISS no dia 04/04/2008.

Tabela 4. Lista das empresas do ramo de pneumáticos legalmente cadastradas no Município de Botucatu.

Número	Razão Social/Contribuinte	Endereço	Número da Inscrição Municipal
01	Ariovaldo Soares de Araújo	Rua Galvão Severino, 47 – Vila dos Lavradores	42248
02	Belmiro Barbosa	Rua Joaquim Lyra Brandão, 794 – Vila Santana	40109
03	Benedito Vicente	Rua João Butignolli, 206 – Rubião Júnior	46340
04	Borracharia dos Pedros Btu Ltda	Av. Prof. José Pedretti Neto, 375 – Vila Assumpção	49683
05	Camilo Megid	Rod. Hipólito Martins, Km 19	48913
06	Carlos Soares de Araújo	Av. Leonardo Villas Boas, 588 – Vila Nova Botucatu	45690
07	Deusdedth Paulo Zonta ME	Rua Francisco Witzler Filho, 925 – Pq. Marajoara	454195
08	Elisângela Rosa Carriel	Rua Cap. José Paes de Almeida, 668 – Bairro Alto	453910
09	Ferrari & F. B. P. Borracharia Ltda	Av. Conde Serra Negra, 400 – Vila Maria	49047
10	J. C. Martins & Martins S/C Ltda ME	Av. Prof. José Pedretti Neto, 375 – Vl. São Lúcio	452421
11	Jair Mariano	Rua Stélio Machado Loureiro, 222 – Vl. São Lúcio	455144
12	João Oscar de Souza	Av. Itália, 91 – Vl. Santo Antônio	44560
13	José Antônio Martins	Rua Domingos Cariola, 706 – Jd. Peabirú	452576
14	José Aparecido Cordeiro Manso	Rua Alvaro de Carvalho Azanha, 31 – COHAB	453090
15	José Carlos Garavello	Av. Deputado Dante Delmanto, 1554 – Vl. Paulista	40801
16	José Roberto Tarrento	Rua Galvão Severino, 105 – Vl. Lavradores	41709
17	M. L. de Rosa Junior	Rua Dr. Jaguaribe, 60 – Vl. Lavradores	45357
18	Ricardo Fabiano Camargo da Silva	Rua Dr. Armando Salles de Oliveira, 550 – Jd. Peabiru	452925
19	Maria Lúcia Basseto Botucatu EPP	Av. Marechal Floriano Peixoto, 350 – Centro	451643
20	Wanderley Basseto ME	Rua José Thiago, 35 – Vl. Paulista	40013

Fonte: Fumis, R. L. G., Botucatu, SP, 2008.

### 3.3 Armazenagem dos pneumáticos inservíveis descartados no Aterro Sanitário de Botucatu

O descarte principal de pneumáticos inservíveis no Município de Botucatu é realizado junto ao Aterro Sanitário Municipal, situado na Rodovia Professor João Hipólito Martins (SP-209). Sendo que este tem sofrido desde 2001 diversas melhorias para adequação às exigências da Companhia Estadual de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (CETESB). A Figura 24 apresenta a evolução das melhorias realizadas no Aterro Sanitário de Botucatu, entre 2001 até 2004.



Figura 24. Evolução das melhorias no Aterro Sanitário do Município de Botucatu.  
Fonte: Fumis, R. L. G., Botucatu, SP, 2008.

Os pneumáticos inservíveis que eram entregues pelas empresas do Município de Botucatu e por consumidores ficavam armazenados dentro do galpão localizado no Aterro Sanitário Municipal até que empresas de reciclagem da região realizassem a coleta (Figuras 25, 26 e 27).



Figura 25. Armazenagem dos pneumáticos inservíveis dentro do galpão no Aterro Sanitário do Município de Botucatu (Foto 01).

Fonte: Filardo et al.



Figura 26. Armazenagem dos pneumáticos inservíveis dentro do galpão no Aterro Sanitário do Município de Botucatu (Foto 02).

Fonte: Filardo et al.



Figura 27. Armazenagem dos pneumáticos inservíveis dentro do galpão no Aterro Sanitário do Município de Botucatu (Foto 03).

Fonte: Filardo et al.

No entanto devido ao incêndio na sede do Setor de Reciclagem da Coleta Seletiva do Município de Botucatu, localizada na Rua Paula Vieira, ocorreu o deslocamento do setor de processamento dos resíduos oriundos do Programa de Coleta Seletiva para esse galpão localizado dentro do Aterro Sanitário. Assim os pneumáticos que ali eram armazenados foram transferidos para a parte externa do galpão como apresentado na Figura 28 e ficavam expostos as intempéries sem nenhuma cobertura e com contato direto ao solo.



Figura 28. Armazenagem dos pneumáticos inservíveis na parte externa do galpão no Aterro Sanitário do Município de Botucatu.

Fonte: Filardo et al.

Atualmente os pneumáticos inservíveis ficam armazenados próximos à entrada do Aterro Sanitário Municipal sem nenhum tipo de cobertura até a coleta por uma empresa de reciclagem da região. Estão nesta situação de armazenagem desde o início de 2008, pois a empresa responsável pela coleta sofreu um acidente com o galpão de processamento desses resíduos e como estão em fase de reconstrução não estão realizando as coletas desses resíduos.

Da forma como estão armazenados a RECICLANIP não efetua a coleta. Como informado pela RECICLANIP, a coleta é realizada depois que a Prefeitura Municipal transfira os pneumáticos inservíveis para um galpão coberto e fechado, evitando a exposição desses resíduos às intempéries e à proliferação de vetores de doenças, e após uma visita técnica realizada por técnicos credenciados da RECICLANIP com base nas normas da CETESB. Para a realização da coleta é necessária a quantidade mínima de 2.000 unidades de pneumáticos inservíveis os quais com base nas pesquisas junto as empresas do ramo de pneumáticos (considerando todos os pneumáticos gerados), seriam obtidos em aproximadamente 55 dias, e considerando-se apenas os destinados ao Aterro Sanitário do Município de Botucatu seriam obtidos em aproximados 146 dias.

Conforme informado pela Assistente Técnica em Resíduos Sólidos da Secretaria do Meio Ambiente de Botucatu, Eng<sup>a</sup>. Cristina Machado Filardo, existe um projeto desde 2006 para a construção de um galpão de estrutura metálica e telhas galvanizadas dentro do Aterro Sanitário para armazenagem exclusiva dos pneumáticos inservíveis até o recolhimento pela empresa de reciclagem, com as dimensões de 10 metros de largura por 10 metros de comprimento e 4,5 metros de altura, com valor orçado em 27/07/2006 de R\$ 26.271,62. A Eng<sup>a</sup>. ainda citou, em visita ao Aterro, que o mesmo recebe os pneumáticos inservíveis oriundos do Município de Pardinho e não possuem dados estatísticos do volume recebido.

Baseando-se na demanda de pneumáticos inservíveis gerados pelo Município de Botucatu e destinados ao Aterro Sanitário Municipal (valores obtidos por meio das pesquisas de campo somente com as empresas cadastradas junto ao ISS do Município de Botucatu), desconsiderando-se a demanda gerada pelo Município de Pardinho e considerando-se o fato que a empresa de reciclagem não realiza a coleta dos mesmos desde Janeiro de 2008, estima-se uma quantidade de 2.472 pneumáticos inservíveis armazenados ao ar livre até o fim do mês de Junho de 2008 (considerando-se apenas os pneumáticos destinados ao Aterro Sanitário, conforme dados obtidos nas pesquisas de campo). Sendo que se houvesse um galpão para armazená-los corretamente a RECICLANIP já poderia realizar a coleta, pois a quantidade armazenada ultrapassa o limite mínimo de 2.000 unidades.

#### **4. MATERIAL E MÉTODOS**

Este estudo foi desenvolvido em conjunto com a Secretaria de Obras e a Secretaria do Meio Ambiente da Prefeitura Municipal de Botucatu – São Paulo, e também com o auxílio do Grupo Greca Asfaltos – São Paulo.

Neste estudo foram empregadas pesquisas para levantamento da quantidade gerada de pneumáticos inservíveis pelo Município de Botucatu por meio de pesquisas em cada uma das empresas cadastradas junto ao ISS da Prefeitura Municipal de Botucatu sob número de serviço: 83.812 (borracharias). Nessas pesquisas aplicadas junto às empresas ativas foram levantadas questões básicas tais como, a quantidade aproximada de pneumáticos inservíveis gerados pela empresa, o tamanho de cada tipo mais descartado, o destino dado para os mesmos, os gastos envolvidos para a realização do destino final e qual é o suporte apresentado pelos fornecedores quanto à destinação final, tendo a finalidade de levantar a quantidade aproximada mensal gerada pelas empresas do ramo para que assim fosse possível o cálculo da quantidade de pneumáticos moídos que poderiam ser processados e acrescentados a massa asfáltica no próprio Município.

Em visita, acompanhada por equipe da Secretaria do Meio Ambiente ao Aterro Sanitário, foi possível verificar a quantidade de pneumáticos armazenada ao ar livre e com contato direto ao solo e também verificar o local ideal para a construção do galpão específico para a armazenagem dos pneumáticos.

Foi realizada cotação para a construção de um centro de moagem dos pneumáticos inservíveis com pesquisas em empresas fornecedoras dos equipamentos capazes de realizarem o processamento, via meio eletrônico. Além da cotação dos custos envolvidos na locação e construção do galpão para a execução dos trabalhos e do sistema logístico de coleta dos pneumáticos inservíveis, com o auxílio do programa Microsoft Office Excel 2003.

## **5. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **5.1 Demanda de pneumáticos inservíveis gerados no Município de Botucatu**

Para a realização da pesquisa *in loco* foi utilizado questionário para o desenvolvimento e obtenção das informações necessárias para tabulação dos dados com base no modelo de questionário desenvolvido por Simões (2007) e adaptado para esse estudo de caso (Apêndice 2).

Na Tabela 5 estão contidos os dados quantitativos obtidos pela pesquisa realizada em todas as empresas do ramo de pneumáticos cadastradas no ISS da Prefeitura Municipal de Botucatu, sendo esses dados divididos por cada tipo de pneumático inservível gerado mensalmente (motos, carros e caminhões), o total gerado por cada empresa e total geral.

Tabela 5. Quantidade mensal de cada tipo de pneumáticos inservíveis gerados por cada empresa no Município de Botucatu.

Número da empresa	Quantidade de pneumáticos do Tipo A (Motos)	Quantidade de pneumáticos do Tipo B (Carros)	Quantidade de pneumáticos do Tipo C (Caminhões)	Total gerado por cada empresa
01	000	100	000	100
02	015	140	009	164
03	001	001	000	002
04	Não exerce atividade	Não exerce atividade	Não exerce atividade	Não exerce atividade
05	000	005	004	009
06	000	040	000	040
07	010	080	120	210
08	000	020	000	020
09	000	000	000	000
10	Não exerce atividade	Não exerce atividade	Não exerce atividade	Não exerce atividade
11	000	015	000	015
12	000	000	000	000
13	004	005	000	009
14	004	020	000	024
15	000	024	000	024
16	000	000	000	000
17	024	004	000	028
18	006	020	000	026
19	000	400	000	400
20	012	040	000	052
Total Parcial	76 (6,76 %)	914 (81,4 %)	133 (11,84 %)	
<b>TOTAL</b>			<b>1.123</b>	

Fonte: Fumis, R. L. G., Botucatu, SP, 2008.

## **5.2 Destinação dos pneumáticos inservíveis no Município de Botucatu pelas empresas do ramo**

Tabulando-se os dados obtidos com a pesquisa de campo obtêm-se os principais destinos para os pneumáticos inservíveis no Município de Botucatu, conforme Tabela 6, a qual apresenta a quantidade e os destinos dados por cada empresa. Sendo que o maior volume dos pneumáticos gerados pelas empresas do Município de Botucatu é destinado para o Aterro Sanitário Municipal obtendo-se 412 pneumáticos (36,7 %). Alguns fornecedores de pneumáticos novos realizam uma coleta mensal dos pneumáticos inservíveis para o processo de recauchutagem (26,8 %), sendo assim esses pneumáticos inservíveis em sua totalidade ficam armazenados de forma adequada para evitar a proliferação de vetores transmissores de doenças. Já 18,7 % dos pneumáticos inservíveis são revendidos para empresas que realizam atividades de reciclagem, e os restantes são recolhidos por empresas de reciclagem do Estado de São Paulo sem nenhum custo para as empresas que cedem estes materiais (17,8 %).

Tabela 6. Destinação final dos pneumáticos inservíveis pelas empresas do ramo no Município de Botucatu.

Número da empresa	Quantidade de pneumáticos destinados para o Aterro Sanitário Municipal	Quantidade de pneumáticos destinados para os fornecedores para recauchutagem	Quantidade de pneumáticos revendidos para reciclagem	Quantidade de pneumáticos destinados para reciclagem
01	100	000	000	000
02	164	000	000	000
03	002	000	000	000
04	Não exerce atividade	Não exerce atividade	Não exerce atividade	Não exerce atividade
05	009	000	000	000
06	000	040	000	000
07	000	000	210	000
08	020	000	000	000
09	000	000	000	000
10	Não exerce atividade	Não exerce atividade	Não exerce atividade	Não exerce atividade
11	015	000	000	000
12	000	000	000	000
13	000	009	000	000
14	000	024	000	000
15	024	000	000	000
16	000	000	000	000
17	000	028	000	000
18	026	000	000	000
19	000	200	000	200
20	052	000	000	000
Total	412 (36,7 %)	301 (26,8 %)	210 (18,7 %)	200 (17,8 %)
Parcial				
<b>TOTAL</b>		<b>1123</b>		

Fonte: Fumis, R. L. G., Botucatu, SP, 2008.

O gasto com transporte aproximado para as empresas que destinam os pneumáticos inservíveis para o Aterro Sanitário Municipal em média é de R\$ 13,00 (por transporte) conforme média obtida nas pesquisas. Os gastos pelas empresas do ramo no Município de Botucatu para a destinação dos pneumáticos inservíveis até o Aterro Sanitário Municipal e a quantidade de transportes mensais realizados até o Aterro Sanitário por cada empresa são apresentados na Tabela 7 (a empresa número 03 gasta aproximadamente R\$ 24,00 anuais com a destinação até o Aterro Sanitário de Botucatu, pois realiza apenas uma entrega anual). Já as empresas que destinam esses materiais para outros processos não apresentam gastos com transporte.

Tabela 7. Gastos mensais com o transporte dos pneus inservíveis até o destino final.

Número da empresa	Gastos mensais em Reais (R\$) por cada empresa do ramo no Município de Botucatu	Quantidade de transportes mensais realizados até o Aterro Sanitário
01	R\$ 15,00	01
02	R\$ 20,00	02
03	R\$ 02,00	01 vez por ano
04	Não exerce atividade	Não exerce atividade
05	R\$ 10,00	01
06	R\$ 00,00	00
07	R\$ 00,00	00
08	R\$ 15,00	01
09	R\$ 00,00	00
10	Não exerce atividade	Não exerce atividade
11	R\$ 15,00	01
12	R\$ 00,00	00
13	R\$ 00,00	00
14	R\$ 00,00	00
15	R\$ 10,00	01
16	R\$ 00,00	00
17	R\$ 00,00	00
18	R\$ 15,00	01
19	R\$ 00,00	00
20	R\$ 15,00	01
Valor Total	R\$ 117,00	09

Fonte: Fumis, R. L. G., Botucatu, SP, 2008.

### **5.3 Cálculo do volume ocupado por cada tipo de pneumático**

Calcula-se o volume ocupado por cada tipo de pneumático gerado mensalmente, para que seja possível o dimensionamento do volume por eles ocupado tanto para a realização da coleta como também pela armazenagem.

Para o cálculo do volume ocupado por cada tipo de pneumático, baseando-se nos dados obtidos pelas pesquisas junto as empresas cadastradas no ISS da Prefeitura Municipal de Botucatu. No dimensionamento do volume ocupado por cada tipo foram utilizados valores dimensionais médios dos pneumáticos descartados como apresentadas nas Figuras 30, 31 e 32, os quais foram obtidos nas pesquisas realizadas nas empresas do ramo.

No dimensionamento do volume, foram convertidas as medidas dos pneumáticos de centímetros para metros. Foi utilizada a fórmula básica do volume do quadrado, pois os pneumáticos apresentam alto fator de estiva.

### 5.3.1 Cálculo do volume ocupado pelos pneumáticos para motos

#### Vista Frontal e Lateral Tipo A - Motos

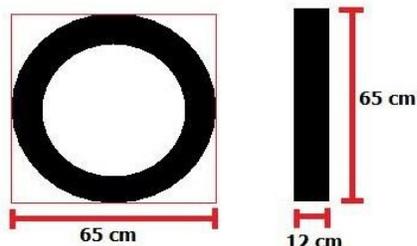


Figura 29. Vista frontal e lateral dos pneumáticos para motos.  
Fonte: Fumis, R. L. G, Botucatu, SP, 2008.

Transformando as medidas de centímetros (cm) para metros (m), temos:

Base: 65 cm = 0,65 m

Largura: 12 cm = 0,12 m

Altura: 65 cm = 0,65 m

Aplicando os valores na fórmula para obter o volume ocupado por 01 pneumático:

Volume = base x altura x largura

Volume = 0,65 x 0,65 x 0,12

**Volume = 0,0507 m<sup>3</sup>.**

Depois de encontrado o valor para o volume ocupado para um pneumático com dimensões médias para veículos do tipo moto, encontra-se o valor para o volume ocupado pelos pneumáticos inservíveis gerados mensalmente do tipo A no Município de Botucatu.

Volume do Tipo A = Volume médio do pneu do tipo A x Demanda do tipo A (mensal)

$$V(A) = 0,0507 \times 76 \dots \dots \dots (1)$$

Onde:

**V(A) = 3,8532 m<sup>3</sup> por mês.**

### 5.3.2 Cálculo do volume ocupado pelos pneumáticos para carros

#### Vista Frontal e Lateral Tipo B - Carros

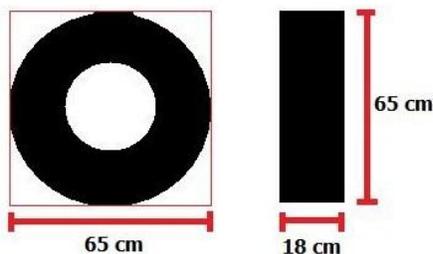


Figura 30. Vista frontal e lateral dos pneumáticos para carros.  
Fonte: Fumis, R. L. G, Botucatu, SP, 2008.

Transformando as medidas de centímetros (cm) para metros (m), temos:

Base: 65 cm = 0,65 m

Largura: 18 cm = 0,18 m

Altura: 65 cm = 0,65 m

Aplicando os valores na fórmula para obter o volume ocupado por 01 pneu:

Volume = base x altura x largura

Volume = 0,65 x 0,65 x 0,18

**Volume = 0,07605 m<sup>3</sup>.**

Depois de encontrado o valor para o volume ocupado para um pneu com dimensões médias para veículos do tipo carro, encontra-se o valor para o volume ocupado pelos pneumáticos inservíveis gerados mensalmente do tipo B no Município de Botucatu.

Volume do Tipo B = Volume médio do pneu do tipo B x Demanda do tipo B (mensal)

$$V(B) = 0,07605 \times 914 \dots \dots \dots (2)$$

Onde:

**V(B) = 69,5097 m<sup>3</sup> por mês.**

### 5.3.3 Cálculo do volume ocupado pelos pneumáticos para caminhões

#### Vista Frontal e Lateral Tipo C - Caminhões

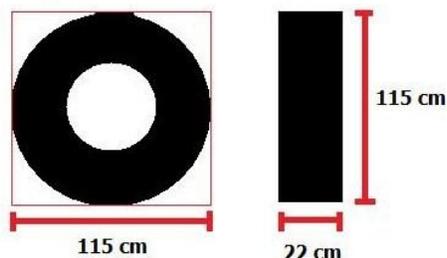


Figura 31. Vista frontal e lateral dos pneumáticos para caminhões.  
Fonte: Fumis, R. L. G., Botucatu, SP, 2008.

Transformando as medidas de centímetros (cm) para metros (m), temos:

Base: 115 cm = 1,15 m

Largura: 22 cm = 0,22 m

Altura: 115 cm = 1,15 m

Aplicando os valores na fórmula para obter o volume ocupado por 01 pneumático:

Volume = base x altura x largura

Volume = 1,15 x 1,15 x 0,22

**Volume = 0,29095 m<sup>3</sup>.**

Depois de encontrado o valor para o volume ocupado para um pneumático com dimensões médias para veículos do tipo caminhão, encontra-se o valor para o volume ocupado pelos pneumáticos inservíveis gerados mensalmente do tipo C no Município de Botucatu.

Volume do Tipo C = Volume médio do pneu do tipo C x Demanda do tipo C (mensal)

$$V(C) = 0,29095 \times 133 \dots \dots \dots (3)$$

Onde:

**V(C) = 38,69635 m<sup>3</sup> por mês.**

### 5.3.4 Cálculo do volume mensal ocupado por todos os pneumáticos inservíveis gerados no Município de Botucatu

Volume total ocupado = Volume mensal Tipo A + Volume mensal Tipo B + Volume mensal Tipo C

$$V(T) = 3,8532 + 69,5097 + 38,69635 \dots \dots \dots (4)$$

Onde:

**$V(T) = 112,05925 \text{ m}^3$  por mês.**

### 5.4 Cálculo do volume mensal ocupado pelos pneumáticos inservíveis gerados por cada empresa legalmente estabelecida no Município de Botucatu

Para o cálculo do volume gerado por cada empresa do ramo, utiliza-se o valor médio anteriormente calculado para o volume ocupado por cada tipo de pneumático, multiplicando-se pela quantidade gerada por cada empresa.

Como exemplo, tomamos a empresa número 02, a qual gera mensalmente:

- 015 pneumáticos do Tipo A (Motos),
- 140 pneumáticos do Tipo B (Carros) e
- 009 pneumáticos do Tipo C (Caminhões).

Utilizando-se os valores obtidos anteriormente para cada Tipo de pneumáticos temos:

- Volume ocupado por 001 pneumático do Tipo A =  $0,0507 \text{ m}^3$ .
- Volume ocupado por 001 pneumático do Tipo B =  $0,07605 \text{ m}^3$ .
- Volume ocupado por 001 pneumático do Tipo C =  $0,29095 \text{ m}^3$ .

Multiplicando-se a quantidade obtida pelo volume ocupado por cada tipo, obtemos o volume médio gerado mensalmente por essa empresa:

$$V (A) = 015 \text{ unidades} \times 0,0507 \text{ m}^3 \dots\dots\dots(5)$$

Onde:

$$V (A) = \mathbf{0,7605 \text{ m}^3}.$$

$$V (B) = 140 \text{ unidades} \times 0,07605 \text{ m}^3 \dots\dots\dots(6)$$

Onde:

$$V (B) = \mathbf{10,647 \text{ m}^3}.$$

$$V (C) = 009 \text{ unidades} \times 0,29095 \text{ m}^3 \dots\dots\dots(7)$$

Onde:

$$V (C) = \mathbf{2,61855 \text{ m}^3}.$$

Somando-se os valores obtidos para cada tipo de pneumático obtém-se o volume médio gerado por essa empresa:

Volume total ocupado = Volume mensal Tipo A + Volume mensal Tipo B + Volume mensal Tipo C

$$V (T) = 0,7605 + 10,647 + 2,61855 \dots\dots\dots(8)$$

Onde:

$$V (T) = \mathbf{14,02605 \text{ m}^3}.$$

Depois dos cálculos conclui-se que a empresa número 02 gera um volume médio de 14,02605 m<sup>3</sup> pneumáticos inservíveis por mês de atividade. Baseando-se nesses cálculos o mesmo é realizado para as outras empresas legalmente estabelecidas, dados estes apresentados nas Figuras 32, 33, 34 e 35 que apresentam os gráficos com os volumes detalhados.

As empresas sob os números 04, e 10 não exercem atividade mesmo estando em situação regular junto ao ISS do Município de Botucatu. Já as empresas sob os números 09, 12 e 16 realizam apenas atividades de balanceamento, alinhamento e consertos em geral, dessa forma por não realizarem substituições por outros pneumáticos não geram pneumáticos inservíveis.

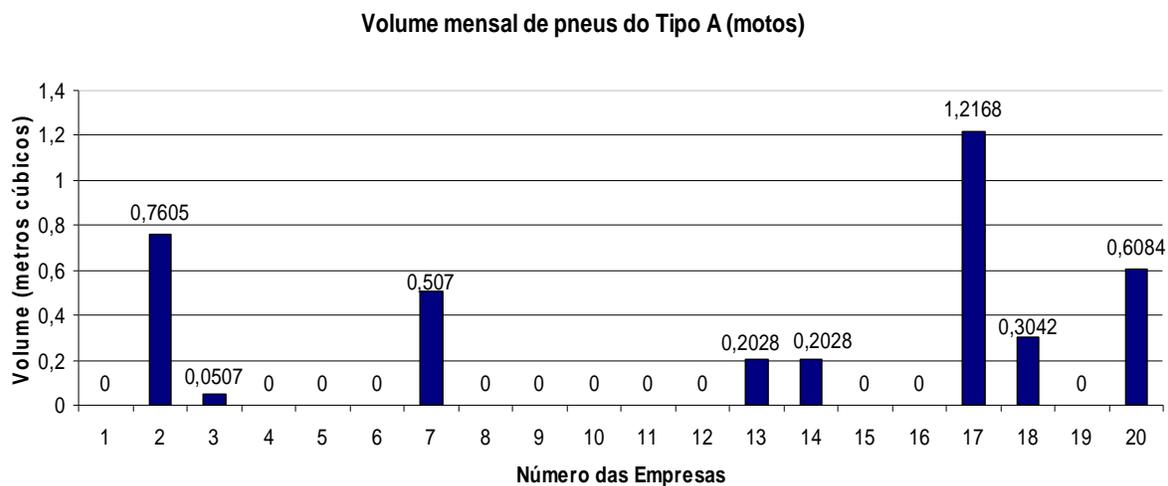


Figura 32. Volume mensal de pneus do Tipo A (motos).  
 Fonte: Fumis, R. L. G., Botucatu, SP, 2008.

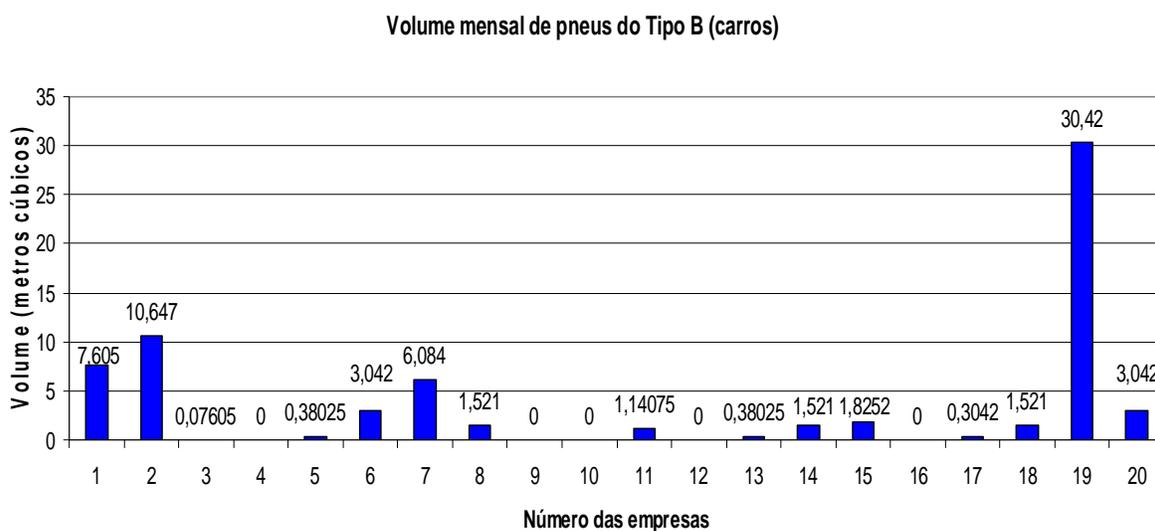


Figura 33. Volume mensal de pneus do Tipo B (carros).  
 Fonte: Fumis, R. L. G., Botucatu, SP, 2008.

**Volume mensal de pneus do Tipo C (caminhões)**

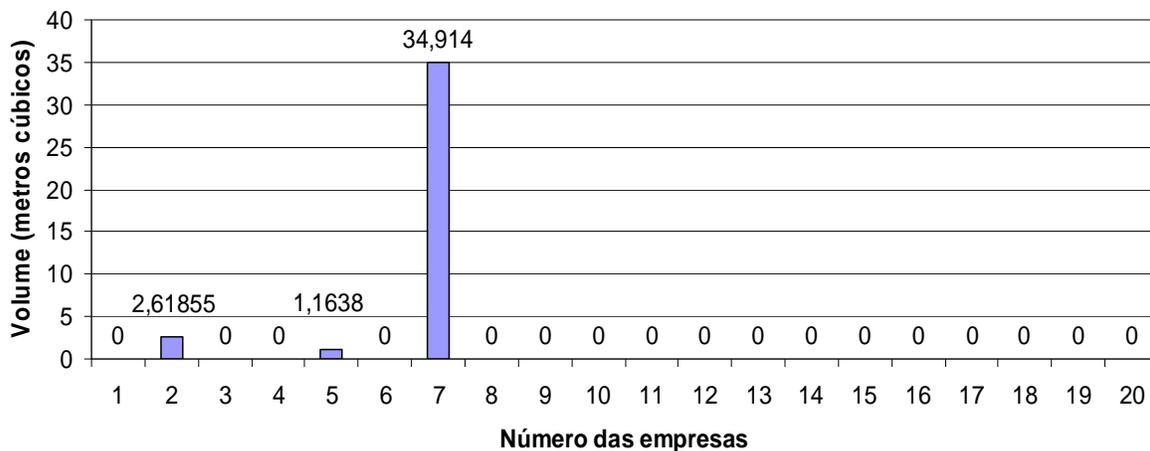


Figura 34. Volume mensal de pneus do Tipo C (caminhões).

Fonte: Fumis, R. L. G., Botucatu, SP, 2008.

**Volume mensal total gerado por cada empresa**

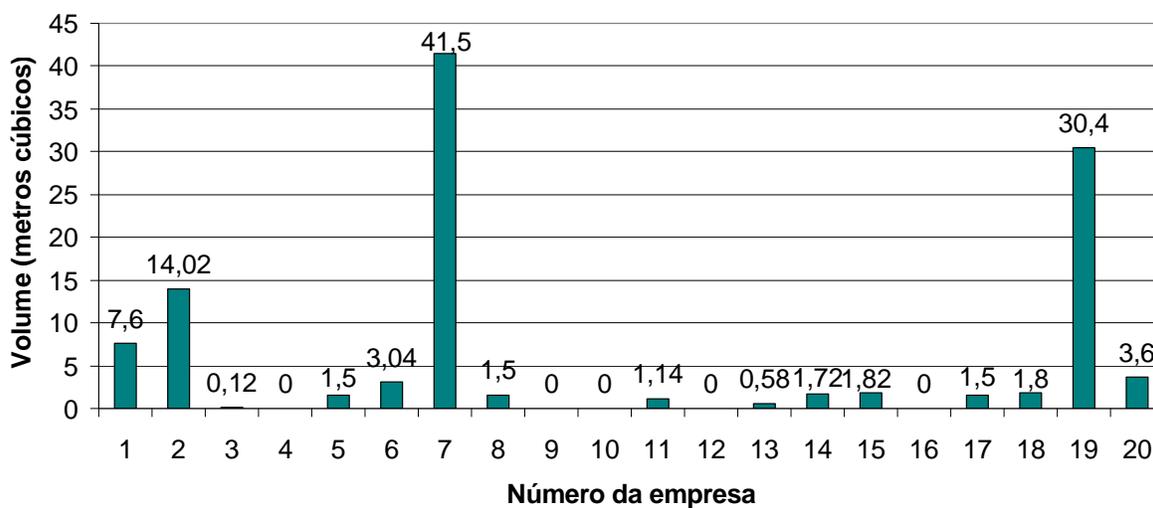


Figura 35. Volume mensal total gerado por cada empresa.

Fonte: Fumis, R. L. G., Botucatu, SP, 2008.

### 5.5 Cálculo do veículo para realizar a coleta dos pneumáticos inservíveis e das despesas operacionais

O veículo considerado neste estudo é da Marca Ford – Modelo F 1000 Super Diesel – Ano de Fabricação 1993, com o valor de R\$ 27.680,00 segundo cotação junto a tabela de preços para veículos da Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas (FIPE) estando este veículo sob o Código FIPE 003046-5 (valores obtidos em 06/06/2008). O qual apresenta boa relação custo-benefício e também capacidade cúbica para a coleta dos pneumáticos.

Segundo Lima et al. (2007), esse veículo apresenta uma capacidade de carga de 1.175 kg. As dimensões da caçamba são: 2,05 metros de comprimento e 1,65 metros de largura. O tanque de combustível tem a capacidade de 110 litros. Baseando-se nessas informações da capacidade da caçamba, e considerando a ampliação das bordas da caçamba por meio de estruturas metálicas, até uma altura de 2 metros, ampliar-se-ia a capacidade cúbica do veículo, conforme apresentado na Figura 36, a qual apresenta um veículo Ford – F 1000 Super Diesel – Ano de fabricação 1993, com as dimensões da estrutura metálica, em centímetros.



Figura 36. Modelo F 1000 Super Diesel – Marca Ford – Ano 1993 (com exemplo dimensional de estrutura metálica).

Fonte: Fumis, R. L. G., Botucatu, SP, 2008.

A partir das dimensões da estrutura metálica acoplada a caçamba obtém-se a capacidade cúbica aproximada com o auxílio da fórmula básica do volume com base nas dimensões da estrutura.

Altura: 2,0 metros

Largura: 1,65 metros

Comprimento: 2,05 metros

Aplicando-se os valores:

$$V (\text{caçamba}) = \text{altura} \times \text{largura} \times \text{comprimento}$$

$$V (\text{caçamba}) = 2,0 \text{ m} \times 1,65 \text{ m} \times 2,05 \text{ m} \dots\dots\dots(9)$$

Onde:

$$\mathbf{V (\text{caçamba}) = 6,765 \text{ m}^3.}$$

Ainda segundo Lima et al. (2007), a velocidade máxima aproximada atingida pelo veículo é de 155 km/h e o consumo médio em vias urbanas é de 4,36 km/l e em vias rurais é de 7,3 km/l. Com base nas informações obtidas e com o auxílio do Programa Microsoft Office Excel 2003, obtém-se os dados apresentados na Tabela 8, a qual apresenta os custos mensais fixos para o veículo acima descrito totalizando R\$ 3.913,56.

Tabela 8. Custos mensais fixos para um veículo Marca Ford - Modelo F 1000 Super Diesel – Ano de Fabricação 1993.

<b>Custos Mensais Fixos</b>	<b>Unidade</b>	<b>Exemplo</b>
Preço da Compra	R\$	27.680,00
Valor Residual (24,17%)	R\$	6.690,26
Valor a Depreciar	R\$	20.989,74
Vida Útil do Veículo	Meses	60,00
Custo de Depreciação	R\$/Mês	111,50
Taxa Percentual de Juros	%	0,85
Custo da Remuneração do Capital	R\$	235,28
DPVAT (Seguro Obrigatório)	R\$/ano	94,15
IPVA	R\$/ano	415,20
Licenciamento	R\$/ano	99,00
Seguro Facultativo	R\$/ano	553,00
Custo Geral	R\$	96,78
Custos Diversos	R\$	600,00
<b>Total do Custo Fixo</b>	<b>R\$</b>	<b>3.913,56</b>

Fonte: Fumis, R. L. G., Botucatu, SP, 2008.

### **5.6 Cálculo da coleta dos pneumáticos inservíveis nas empresas do ramo com destino ao Aterro Sanitário**

A Tabela 9 apresenta a relação entre a capacidade cúbica do veículo e a demanda gerada por cada empresa do ramo legalmente estabelecida, com a finalidade de obter-se o volume cúbico gerado por cada empresa para relacioná-lo com a capacidade do caminhão e determinar a ordem a ser coletada e o número de coletas a serem realizadas em cada empresa gerando assim a rota a ser empregada baseando-se em Moura (2003) o qual cita que as redes de distribuição reversa em sua maioria possuem uma estruturação convergente, ou seja, partem de vários pontos que são os pontos de consumo, para poucos centros de processamento. As rotas de coletas são decisivas para o fluxo da distribuição reversa.

Tabela 9. Relação entre a capacidade cúbica do veículo e a demanda gerada de pneumáticos por cada empresa legalmente estabelecida (m<sup>3</sup>), gerando o número de coletas em cada empresa.

Número da empresa	Volume total gerado por cada empresa (m <sup>3</sup> )	Capacidade cúbica do veículo	Número de coletas em cada empresa
01	7,605	6,765	1,1241
02	14,02605	6,765	2,0733
03	0,12675	6,765	0,0187
04	Não exerce atividade	6,765	000
05	1,54405	6,765	0,2282
06	3,042	6,765	0,4496
07	41,505	6,765	6,1352
08	1,521	6,765	0,2248
09	000	6,765	000
10	Não exerce atividade	6,765	000
11	1,14075	6,765	0,1686
12	000	6,765	000
13	0,58305	6,765	0,0861
14	1,7238	6,765	0,2548
15	1,8252	6,765	0,2698
16	000	6,765	000
17	1,521	6,765	0,2248
18	1,8252	6,765	0,2698
19	30,42	6,765	4,4966
20	3,6504	6,765	0,5396
<b>TOTAL</b>	<b>112,05925</b>	<b>6,765</b>	<b>16,564</b>

Fonte: Fumis, R. L. G., Botucatu, SP, 2008.

Considerando-se o número de coletas de cada empresa obtido na Tabela 10 e aglutinando-os com a finalidade de obter o maior número de empresas coletadas possível até o limite volumétrico do veículo, é apresentada a divisão das coletas na Tabela 11. Sendo necessárias nas empresas números 02, 07 e 19, um número maior de coletas devido à demanda gerada por cada empresa. As demais empresas foram unidas até alcançar a capacidade volumétrica máxima do veículo, otimizando assim a capacidade do veículo. Ainda na Tabela 10, conclui-se que a distância para a realização da coleta em todas as empresas legalmente estabelecidas é de aproximadamente 219,1 km / mês.

Tabela 10. Divisão das coletas junto às empresas legalmente estabelecidas e geradoras de pneumáticos inservíveis.

Empresa(s) a ser(em) coletadas	Distância mensal percorrida entre o Aterro Sanitário até a(s) empresa(s) (km)	Número de coletas a ser(em) realizada(s) por mês
01	17	01
02	22	02
03	20 km / ano = 1,6 km / mês	01 por ano
07	60	06
19	65	05
11,15,20	20	01
06, 14, 17	20	01
05, 08, 13, 18	13,5	01
<b>TOTAL</b>	<b>219,1</b>	<b>17</b>

Fonte: Fumis, R. L. G., Botucatu, SP, 2008.

A empresa número 03, por apresentar uma baixa demanda e por realizar a armazenagem em área coberta e também por estar isolada das demais (localizada em Rubião Júnior), a coleta deste material realizar-se-ia uma vez ao ano sendo a sua distância rateada em 12 meses para a conclusão dos custos variáveis.

A Tabela 11 apresenta o custo mensal variável para um veículo Marca Ford - Modelo F 1000 Super Diesel – Ano de Fabricação 1993, realizando as coletas no Município de Botucatu percorrendo uma distância mensal de aproximadamente 219,1 km, o qual é de R\$ 382,24 e a hora parada do veículo custa R\$ 12,81.

Tabela 11. Custos mensais variáveis para um veículo Marca Ford - Modelo F 1000 Super Diesel – Ano de Fabricação 1993 percorrendo 219,1 km / mês.

<b>Custo Mensal Variável</b>	<b>Unidade</b>	<b>Exemplo</b>
Km Mensal	Km	219,10
Capacidade	Ton.	1,18
Preço do Litro do Diesel	R\$	1,98
Consumo do Veículo	Km/L	4,36
Custo do Combustível	R\$	99,50
Lavagem e Lubrificação Mensal	R\$	100,00
Número de Pneus	Unid.	4,00
Vida Média Útil de Pneu	Km	100.000,00
Preço do Pneu	R\$	300,00
Custo Pneus	R\$	2,63
Índice de Manutenção	%	1,00
Custo de Manutenção	R\$	276,80
Preço Óleo Motor	R\$/L	8,90
Custo Óleo Motor	R\$	1,95
Custo total de lubrificantes	R\$	3,31
<b>Total dos Custos Variáveis</b>	<b>R\$</b>	<b>382,24</b>
Hora do veículo parado (260 horas mensais)	R\$	12,81

Fonte: Fumis, R. L. G., Botucatu, SP, 2008.

### **5.7 Cálculo do galpão para armazenamento dos pneumáticos dentro do aterro sanitário**

O terreno para a implantação do centro de processamento dos resíduos, localizar-se-ia dentro do próprio Aterro Sanitário do Município de Botucatu, pois o principal destino dado aos pneumáticos gerados no Município de Botucatu é o Aterro Sanitário e também considerando-se que na atualidade os mesmos não possuem uma armazenagem adequada o que inviabiliza a coleta pela ANIP.

Considerando-se que os pneumáticos inservíveis sejam coletados e levados para o centro de processamento e processados semanalmente, então os mesmos ocupariam uma área de 28,0148125 m<sup>3</sup>. A estação de trituração de pneumáticos inservíveis pode ser montada de forma fixa ou móvel ocupando uma área inferior a 40 m<sup>3</sup>.

Caso este galpão seja utilizado para somente armazenagem dos pneumáticos inservíveis, devido à inviabilidade técnica de instalação de um centro de processamento, o volume necessário de pneumáticos inservíveis para que a RECICLANIP realize a coleta no Município de Botucatu é de 2.000 unidades. Sendo que para atingir esta quantidade, conforme dados obtidos pela pesquisa de campo seriam necessários 55,2181 dias para alcançar essa meta. Seguindo a porcentagem de pneumáticos inservíveis gerados pelo Município de Botucatu. O volume ocupado pelos 2.000 pneumáticos, dos três tipos, seria de 199,5712 m<sup>3</sup>.

Dessa forma para realizar essa armazenagem e prevendo-se um aumento na demanda dos pneumáticos gerados pelo Município de Botucatu e também dos pneumáticos inservíveis oriundos do Município de Pardinho os quais são descartados no Aterro Sanitário de Botucatu, um galpão como cotado com a empresa Rentank, a qual apresenta uma nova tecnologia em galpões para armazenagem com baixo custo de instalação, seria suficiente para essa função.

O modelo cotado foi Macrogalpão® Lite 10, o qual é construído por elementos zincados a fogo e suas partes e peças unidas por meios de pinos. Na parte superior o galpão é coberto com lonas vinílicas com tecido de poliéster de alta tenacidade revestido de PVC em ambas as faces conferindo-lhe impermeabilidade e com tratamento anti-mofo. A Figura 37 apresenta o processo de montagem da estrutura metálica o qual pode ser realizado em apenas um dia de trabalho pela equipe técnica, como também internamente e externamente depois de terminado o processo.



Figura 37. A) Galpão modelo Macrogalvão® Lite 10, em processo de montagem; B) Galpão modelo Macrogalvão® Lite 10, vista interna; C) Galpão modelo Macrogalvão® Lite 10, vista externa.

Fonte: Podmanicki et al. (2008).

Esse modelo cotado pode ser construído em apenas um dia com uma equipe de 06 funcionários especializados, pois como informado pela empresa, por dia de trabalho da equipe são capazes de construir 450 m<sup>2</sup>. Conforme dados obtidos na cotação, os gastos com a alimentação por um dia da equipe de 06 funcionários como também as despesas com o caminhão Munck e frete, ficam a cargo do locador ou comprador. O valor mensal para a locação deste modelo de galpão é de R\$ 2.400,00 e o valor para construção é de R\$ 77.395,00, conforme apresentado na proposta comercial de venda de bem móvel sob o número PVC200806051015 presente no Apêndice 3. Com o valor da construção de um galpão deste porte, seria possível a locação de um mesmo modelo pelo período de 32,24 meses.

Esse modelo apresenta 10 metros de largura por 15 metros de comprimento por 6 metros de altura e uma porta frontal de 4 metros de altura por 4 metros de largura. A área ocupada é de 150 m<sup>2</sup>. A capacidade cúbica aproximada desse galpão é de 1.014 m<sup>3</sup> (dados apresentados na proposta técnica), pois no cálculo do volume é necessário desconsiderar as estruturas sustentadoras da parte interna superior como apresentado na Figura 38, a qual apresenta um corte transversal com as principais dimensões em milímetros. Com a capacidade de

armazenagem obtida por esse galpão seria suficientemente capaz de acondicionar os pneumáticos inservíveis até o recolhimento pela ANIP ou o processamento transformando-os em pó de borracha para que sejam acrescentados na massa asfáltica.

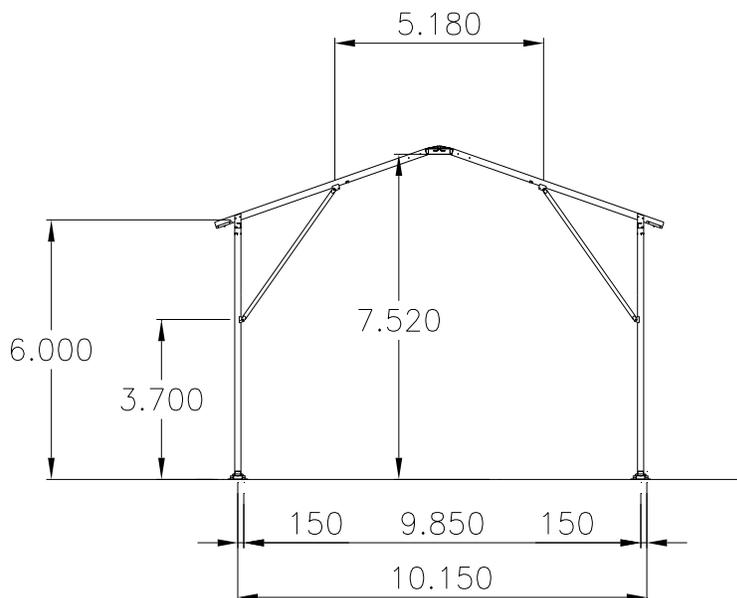


Figura 38. Dimensões do Galpão modelo Macrogalpão® Lite 10 (vista transversal).  
Fonte: Podmanicki et al. (2008).

No caso de construção de um galpão, a empresa Rentank oferece garantia de 05 anos para as estruturas metálicas e 02 anos para as lonas vinílicas e garante resistência estrutural até ventos de 120 km/h. No caso de locação a empresa responsabiliza-se pelo galpão durante todo o período de locação. Os galpões possuem entradas de ventilação nas partes superiores e também por meio de cumeeiras. Como vantagens competitivas para aplicação deste tipo de galpão, a Rentank destaca que esse tipo de estrutura não necessita de licenças e projetos, a metragem ocupada não sofre o Imposto sobre a Propriedade Predial e Territorial Urbana (IPTU) o qual a partir da metragem do galpão anteriormente descrito seria aproximadamente de R\$ 600,00 anuais, além das vantagens apresentadas este tipo de estrutura atende as normas da Agência Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e permite ampliação com rapidez e também fácil desmontagem e re colocação em outra área.

## 5.8 Maquinários para realização do processamento dos resíduos

Para a realização do processamento dos pneumáticos inservíveis com a finalidade de emprego em massas asfálticas é necessária a utilização de uma planta de reciclagem de pneumáticos inservíveis, a qual é constituída de uma máquina para realizar a extração do aço e do nylon, triturador específico para pneumáticos de todos os tamanhos, peneira classificatória, e silo de armazenagem para o pó de borracha.

A empresa Bruno Industrial, situada no Paraná, e atuante no ramo de maquinários industriais de diversos tipos e tamanhos por meio de cotação informou que no Brasil ainda não existem fabricantes para esses maquinários, inviabilizando a implantação de muitos centros de processamento devido ao seu alto custo de importação. Para uma linha de produção de pó de borracha a partir de pneumáticos inservíveis, a empresa Bruno Industrial informou, via meio eletrônico (Apêndice 4), que para uma capacidade produtiva de 2 toneladas por hora de trabalho, o preço em média seria de R\$ 2.500.000,00 acrescido de R\$ 1.000.000,00 referente as taxas de importação e frete, e mais R\$ 250.000,00 referente a montagem, totalizando R\$ 3.750.000,00. A empresa ainda cita que a manutenção e peças de reposição podem ser realizadas por técnicos próprios e por eles fornecidas.

Devido ao alto custo na implantação de um centro de processamento de pneumáticos com a finalidade de obtenção de pó de borracha para o emprego na massa asfáltica, por 13,33% do valor de uma planta completa pode-se comprar apenas um triturador para transformar os pneumáticos inservíveis em borracha triturada a qual pode ser vendida para empresas do ramo de tapetes automotivos, uso em sapatos e usos industriais como apresentado anteriormente.

Como no Município de Botucatu são gerados pneumáticos inservíveis de motocicletas, carros e caminhões, é necessário um triturador com capacidade específica para processá-los. A empresa Bruno Industrial possui um triturador específico para a realização do processamento desses pneumáticos inservíveis.

O triturador cotado com a empresa Bruno Industrial, sob o modelo TBS 800 x 1300, cujo valor é de R\$ 500.000,00 é capaz de processar 60 pneumáticos de caminhões por hora ou 450 pneumáticos para carros. Este triturador ainda pode ser utilizado para processar papelão, plásticos e outros resíduos sólidos, sendo estes materiais separados e compactados pela equipe operacional do Programa de Coleta Seletiva Municipal instalada no Aterro Sanitário Municipal. A Figura 39 apresenta o triturador de pneumáticos modelo TBS 800 x 1300 cotado com a empresa Bruno Industrial.



Figura 39. A) Destaque do triturador para pneumáticos inservíveis modelo TBS 800 x 1300 (Empresa Bruno Industrial); B) Triturador para pneumáticos inservíveis modelo TBS 800 x 1300 (Empresa Bruno Industrial) sobre plataforma.

Fonte: Kaiser et al. (2008).

### 5.8.1 Capacidade produtiva da planta de reciclagem de pneumáticos e do triturador modelo TBS 800 x 1300

Baseando-se em Andrietta (2002), em uma tonelada de pneumáticos inservíveis para automóveis pode-se obter aproximadamente 162 pneumáticos, pois o seu peso unitário aproximado oscila de 5,5 kg até 7,0 kg (peso médio 6,25 kg). Já no caso dos pneumáticos inservíveis para caminhões pode-se obter aproximadamente 15 pneumáticos, pois o seu peso unitário aproximado oscila de 55 kg até 80 kg (peso médio 67,5 kg).

E considerando-se que segundo Kaiser et al. a capacidade produtiva da planta de reciclagem é de 2 toneladas por hora de trabalho e adotando-se a operação da planta durante 160 horas mensais, a mesma consumiria 320 toneladas de pneumáticos inservíveis, os quais segundo Andrietta (2002) seriam aproximadamente necessários 51.200 unidades de pneumáticos inservíveis de veículos de pequeno porte (carros) ou aproximadamente 4.741 unidades de pneumáticos inservíveis para veículos de grande porte (caminhões), considerando-se os valores médios pois existem variações de modelos e tamanhos.

No entanto considerando-se a capacidade produtiva do triturador para pneumáticos inservíveis modelo TBS 800 x 1300 que é capaz de processar 60 pneumáticos de caminhões por hora ou 450 pneumáticos para carros e adotando-se a operação durante 160 horas mensais, o mesmo consumiria 9.600 unidades de pneumáticos inservíveis para veículos de grande porte (caminhões) ou 72.000 unidades de pneumáticos inservíveis de veículos de pequeno porte (carros).

Dessa forma seria elevada a ociosidade gerada pelo abastecimento da planta completa de reciclagem ou do triturador, pela demanda de pneumáticos das empresas legalmente estabelecidas no Município de Botucatu. Conforme dados obtidos pelas pesquisas as empresas geram mensalmente míseros 76 pneumáticos de motocicletas, 914 pneumáticos de veículos de pequeno porte (carros) e 133 pneumáticos de veículos de grande porte (caminhões), totalizando 1.123 unidades mensais.

Considerando-se uma demanda que suprisse a capacidade produtiva dos maquinários envolvidos, seriam necessários outros cálculos para a verificação de qual seria a melhor destinação para a borracha já triturada, ou seja, a análise sobre a possibilidade de implantação pela equipe técnica da Secretaria de Obras do próprio Município bem como a sua revenda para empresas do ramo de massa asfáltica as quais realizam a compra desse material para adição à massa asfáltica, como apresentado pelo Grupo Greca Asfaltos Ltda. Em caso de venda desse material já processado pelo Município, o retorno financeiro ficaria para suprir os gastos com a implantação e com as despesas fixas e o lucro retornaria para o Município.

## 6. CONCLUSÃO

Com a tabulação dos dados obtidos junto às empresas legalmente estabelecidas no Município de Botucatu e também dos equipamentos cotados para a execução deste estudo, conclui-se que a planta completa, bem como o triturador para o processamento dos resíduos são de alto valor e a demanda atualmente gerada pelo Município não é suficiente para a execução do processamento e utilização na massa asfáltica no Município de Botucatu.

Para o processamento dos pneumáticos inservíveis com finalidade de inclusão na massa asfáltica, cabe a estudos futuros a análise da coleta dos pneumáticos gerados por Municípios da região de Botucatu para que o volume obtido seja o suficiente para processá-los sem ocasionar ociosidade aos maquinários.

Conclui-se que é viável a execução da coleta nas empresas do ramo e a implantação do galpão, para que assim a Prefeitura Municipal de Botucatu sele o vínculo junto a RECICLANIP, cabendo ao Município a realização das atividades de coleta e de armazenagem até o recolhimento por empresa credenciada junto a RECICLANIP e também para que os pneumáticos possuam uma destinação ecologicamente correta.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRIETTA, A. J. Pneus e meio ambiente: um grande problema requer uma grande solução. 2002. Disponível em: <<http://www.mourapneus.com.br/sobrepneus.html>>. Acesso em: 01 abr. 2008.

CERATTI, J. A. P. et al. **Estudo comparativo do desempenho de um recapeamento utilizando asfalto borracha**. 1. ed. Porto Alegre, RS: GRUPO CORDAF, 2006. 76 p.

CHEN, W. et al. Tudo sobre pneus. 2008. Disponível em: <<http://www.braziltires.com.br/tudosobrepneus/pneus.html>>. Acesso em: 28 mar. 2008.

DELIBERATO, E. C. et al. Programa de Coleta e Destinação de Pneus Inservíveis. Disponível em: <[www.anip.com.br](http://www.anip.com.br)>. Acesso em: 11 mai. 2008.

FILARDO, C. M. et al. Fotos dos pneus inservíveis armazenados no Aterro Sanitário de Boutucatu. Disponível via e-mail em: <[residuos@botucatu.sp.gov.br](mailto:residuos@botucatu.sp.gov.br)>. Recebido em: 26 mai. 2008.

GRECA, A. C. et al. Ecoflex: Asfalto Borracha. Porto Alegre: Greca Distribuidora de Asfaltos Ltda, 2006. CD-ROM.

GRECO, J. A. S. Construção de estradas e vias urbanas, Minas Gerais, 2006. Disponível em: <<http://etq.ufmg.br/~jisela/pagina/notas%20conceitos%20pavimentacao.pdf>>. Acesso em: 17, fev. 2008.

KAIZER, A. et al. Linha de Reciclagem: Planta de Reciclagem de Pneus. Disponível em: <<http://www.bruno.com.br/index.asp?dep=3&menu=10&cat=15&subcat=21>> Acesso em 24 mai. 2008.

LEITE, P. R. **Logística Reversa**: meio ambiente e competitividade. São Paulo: Editora Pearson Prentice Hall, 2003. 250 p.

LIMA, E. A. P. et al. Ford Pick-up F 1000, 2007 Disponível em: <<http://www.ivox.com.br/produto/?dir=1/7/1358/372:30078>>. Acesso em: 17 mai. 2008.

MALLMANN, N. C. et al. Coleta de pneus no Ecoponto. Disponível em: <<http://www.charqueadas.rs.gov.br/meioambiente/index.htm>> Acesso em: 13 mai. 2008.

MARTINS, H. A. F. **A utilização da borracha de pneus na pavimentação asfáltica**. 115 f. 2004. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil com ênfase Ambiental) - Universidade Anhenbi Morumbi, São Paulo, 2004.

MORILHA JÚNIOR, A.; GRECA, M. R. Asfalto borracha: Ecoflex. 2003. Disponível em: <<http://www.grecaasfaltos.com.br/ecoflex.html>>. Acesso em: 29 mar. 2008.

MOURA, A. R. et al. **Atualidades na Logística**. São Paulo,SP: IMAN, 2003. 402 p.

ORSI, A. Uma alternativa ambiental para pneus em desuso. Rio Grande do Sul, Disponível em: <<http://www6.ufrgs.br/ensinodareportagem/meiob/asfaltob.html>>. Acesso em: 17, fev. 2008.

PODMANICKI, M. et al. Macrogalpões: especificações técnicas. Disponível em: <<http://www.macrogalpoes.com.br/principal.php?id=7>> Acesso em: 20/05/08.

SILVA, W. et al. Dados Gerais do Município de Botucatu. Disponível em: <<http://www.botucatu.sp.gov.br/dadosgerais/#>> Acesso em: 01 jun. 2008.

SIMÕES, M. M. **Estudo de um sistema de coleta e transporte para a logística reversa de pneus no Município de Botucatu.** 2007. 42 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Logística com ênfase em Transportes) – Faculdade de Tecnologia de Botucatu, Centro Paula Souza, Botucatu, 2007.

**APÊNDICE 1**

## **RESOLUÇÃO CONAMA Nº 258, DE 26 DE AGOSTO DE 1999**

Publicada no DOU de 2 de dezembro de 1999

Determina que as empresas fabricantes e as importadoras de pneumáticos ficam obrigadas a coletar e dar destinação final ambientalmente adequadas aos pneus inservíveis .

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.

**JOSÉ SARNEY FILHO**  
**Presidente do CONAMA**

**JOSÉ CARLOS CARVALHO**  
**Secretário-Executivo**

## APÊNDICE 2

## Questionário – Coleta de dados

Nome:

Razão Social:

Endereço:

Número do cadastro junto ao ISS:

## PERGUNTAS:

01) Quantos pneumáticos inservíveis, em média, a empresa acumula mensalmente?

Tipo A – Motos:

Tipo B – Carros:

Tipo C – Caminhões:

02) Qual é o destino dado para os pneumáticos inservíveis? (procedimentos)

03) Quais são os gastos com essa destinação final? (semanal ou mensal)

04) Os fornecedores de pneumáticos apresentam algum tipo de especificação da destinação final?

05) Qual o modelo mais comumente descartado?

Tipo A – Motos:

Tipo B – Carros:

Tipo C – Caminhões:

### APÊNDICE 3

				
<b>Proposta Comercial de Venda de Bem Móvel</b>		<b>PCV200806051015</b>		
<b>Data:</b>	<b>05 de Junho de 2008</b>	<b>Para/Faz:</b>		
<b>Empresa:</b>	<b>Redrigo</b>	<b>Para:</b>		
Proposta comercial de venda de bem móvel - COBERTURA REMOVÍVEL com estrutura metálica <b>aluzada</b> (perfis dobrados), cobertura e fechamento em lona sintética de alta resistência, antimofo e auto extingüível.				
<b>Modelo:</b>	<b>LITE</b>	<b>Largura: (m)</b>	<b>18</b>	
		<b>Comp.: (m)</b>	<b>15</b>	
		<b>Pé Direito: (h)</b>	<b>6,00</b>	
<b>Quantidade de coberturas</b>	<b>1</b>	<b>Área total em planta: (m<sup>2</sup>)</b>	<b>130</b>	
<b>Cap. cúbica aproximada: (m<sup>3</sup>)</b>	<b>1.014</b>	<b>Área Coberta: (m<sup>2</sup>)</b>	<b>7,52</b>	
<b>Porta standard</b>	<b>1</b>			
<b>PROPOSTA PARA VENDA</b>				
<b>ITEM</b>	<b>Valor Unit. (m<sup>2</sup>)</b>	<b>QTD</b>	<b>ICMS</b>	<b>Valor Total</b>
ESTRUTURA	372,44	-----	Incluído	55.940,30
LONA MONTADA	131,83	Incluído	Incluído	18.054,70
<b>TOTAL</b>	<b>504,27</b>			<b>73.995,00</b>
<b>Mobilização</b>	Valor não está incluído no preço de venda			<b>1.000,00</b>
<b>PRAZOS</b>				
Prazo de validade da proposta: 15 dias.				
Prazo de Entrega dos Materiais: 30 dias após confirmação do pedido.				
A data de entrega do material é o início da montagem está condicionada ao envio da documentação necessária para integração e a sua liberação.				
Prazo de instalação: 03 dias, após material posto no local. ( não contar integração )				
<b>RESPONSABILIDADES DA CONTRATADA - RENTANK MACRO GALPÕES</b>				
Sistema de Fixação: Por meio de estacas em piso de asfalto ou terra batida ou parafusos a um piso de concreto, com execução pela Macrogalpões. (Incluído no preço).				
Equipe de instaladores treinados e equipados com ferramentas e EPI's adequados ( Mobilização )				
Transporte dos instaladores ( Mobilização ).				
<b>RESPONSABILIDADES DA CONTRATANTE - CLIENTE</b>				
Fretes dos materiais (estrutura e lona), na mobilização.				
Empilhadeira para descarregamento dos materiais.				
Hércul ou Galadeste para mobilização.				
02 Escadas de 05m ou plataformas elevatória para mobilização (caso necessário).				
Refeições na hora de trabalho para toda equipe de trabalho ( Mobilização ).				
Piso nivelado, ponto de energia, água potável e sanitários para equipe de trabalho.				
<b>CONDIÇÕES DE PAGAMENTO</b>				
1) 1ª PARCELA: 40% 07 dias após confirmação do pedido. 2ª PARCELA: 30% 07 dias após entrega do galpão montado e 3ª PARCELA: 30% 30 dias após entrega do galpão instalado				
2) O pagamento pode ser por <b>Leasing Financeiro</b> contratado pela CONTRATANTE com uma Instituição Financeira.				
3) <b>Patronato:</b> Poderá ocorrer por nossa empresa ligadas Rentank Macrogalpões e Rentank Industrial.				
<b>CONSIDERAÇÕES IMPORTANTES</b>				
1) O prazo de instalação está vinculado ao cronograma firmado pela CONTRATADA e aprovado pela CONTRATANTE. Caso seja necessário bulhões em regime de horas extras após final de semana, serão repassados a CONTRATANTE.				
2) O prazo considerado para a integração dos funcionários da Contratada é de 03 horas, sendo que integrações acima deste prazo, os custos dos respectivos dias serão repassados a CONTRATANTE.				
3) Todo e qualquer custo ocasionado por normas internas ou sistemas de trabalho próprios da CONTRATANTE e que ocasiona atrasos e/ou paralisações durante a montagem/desmontagem, serão repassados pela CONTRATADA a CONTRATANTE.				
4) Pedido de exigência técnicas de segurança: ASO ( RQ/CPYCTR) Registro/ ASO/ Exames de de Acuidade Visual/Eletrocardiograma/Glicemia/ Audiometria/Eletroencefalograma/Ficha de EPIs )				

**Atribuições,**

Sabotillo Silva

Gerente Comercial

Celular: 11 8093-9188

[sabotillo.silva@rentank.com.br](mailto:sabotillo.silva@rentank.com.br)

Marta Podmanicki

Supervisora Comercial

Celular: 11 8048-3146

[marta.podmanicki@rentank.com.br](mailto:marta.podmanicki@rentank.com.br)

**APÊNDICE 4**

From: comercial@bruno.com.br  
CC: atendimento@bruno.com.br  
Subject: RES: CENTRAL DE RECICLAGEM DE PNEUMÁTICOS PARA O MUNICÍPIO DE  
BOTUCATU - SP  
Date: Tue, 3 Jun 2008 13:38:18 -0300

Prezado Rodrigo,

Referente a central não temos a linha completa instalada no Brasil ainda. Os custos de implantação são significativos e até o momento não viabilizamos negócios ainda. Uma linha para 2,0 ton/h para pó de borracha, com todo o sistema de separação de arame e nylon do pneu, peneira para classificação, trituradores, silos, fica na ordem de R\$ 2.500.000,00 + taxas de importação. Podemos oferecer o produto via parceria com empresa de fora. Sendo que a Bruno Industrial pode fornecer os serviços e peças necessários para manutenção da planta.

Obrigado,

Eng. Anderson Kaiser  
Bruno Industrial Ltda  
Tel./Fax: +55 41 3374-2000  
www.bruno.com.br  
kaiser@bruno.com.br

From: comercial@bruno.com.br

Subject: RES: RES: CENTRAL DE RECICLAGEM DE PNEUMÁTICOS PARA O MUNICÍPIO DE BOTUCATU - SP

Date: Wed, 4 Jun 2008 10:11:56 -0300

Bom dia Rodrigo,

Taxas de importação, frete, 40 %, montagens 10 %.

Abraços,

Eng. Anderson Kaiser  
Bruno Industrial Ltda  
Tel./Fax: +55 41 3374-2000  
www.bruno.com.br  
kaiser@bruno.com.br

Triturador pneu

De: Anderson Kaiser - Bruno Industrial (comercial@bruno.com.br)

Enviada: quinta-feira, 3 de abril de 2008 14:24:41

Cc: 'Comercial3 - Bruno industrial' (comercial3@bruno.com.br)

Prezado Sr. Rodrigo,

Referente a trituração de Pneus, temos a solução de trituração do pneu inicial, ou seja, a trituração do pneu inteiro para 50 x 120 mm aproximadamente.

Temos dois modelos, um triturador para pneus de automóveis e outro para pneus de caminhões e automóveis.

Modelo: TBS 800 x 1300 – R\$ 500.000,00, produção 3500 a 4200 kg/h ( 50 a 70 pneus/hora – pneu caminhão ou 450 pneus auto/hora)

Segue em anexo catalogo para vossa verificação.

Nos colocamos à disposição para maiores esclarecimentos.

Atenciosamente,

Eng. Anderson Kaiser

Bruno Industrial Ltda

Tel./Fax: +55 41 3374-2000

www.bruno.com.br

kaiser@bruno.com.br

Assunto: Fotos do pneus  
De: (residuos@botucatu.sp.gov.br)  
Enviada: segunda-feira, 26 de maio de 2008 15:09:28

Olá Rodrigo, com relação às fotos você pode usá-las na sua monografia e na apresentação.

Qualquer dúvida entre em contato.

Att.

Eng<sup>a</sup> Cristina Machado Filardo  
Ass. técnica em resíduos sólidos  
Secretaria Mun. Meio Ambiente Prefeitura de Botucatu/SP  
Telefax: 14.38821290

Assunto: Galpão  
De: (residuos@botucatu.sp.gov.br)  
Enviada: segunda-feira, 2 de junho de 2008 15:29:46

Olá Rodrigo, seguem as características propostas para o galpão para armazenar os pneus:

- Dimensão: 10x10, altura 4,5m
- Piso de solo compactado
- Estrutura metálica (pilares e telhas de aço galvanizado)

O orçamento para a construção do galpão é de R\$26.271,62, este orçamento foi apresentado em 27/07/2006, portanto hoje este valor pode ter sido alterado, o fornecedor eu não tenho o contato porque foi a outra engenheira que elaborou o projeto.

Qualquer dúvida entre em contato.

Att.

Eng<sup>a</sup> Cristina Machado Filardo  
Ass. técnica em resíduos sólidos  
Secretaria Mun. Meio Ambiente Prefeitura de Botucatu/SP  
Telefax: 14.38821290

Botucatu, de de

---

Rodrigo Luiz Gomes Fumis

De acordo

---

Prof. Adolfo Alexandre Vernini

\_\_\_\_\_/\_\_\_\_\_/\_\_\_\_\_

---

Prof. Dr. Luis Fernando Nicolosi Bravin