



ICTR 2004 – CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA EM RESÍDUOS E
DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL
Costão do Santinho – Florianópolis – Santa Catarina

RECICLAGEM DE PNEUS INSERVÍVEIS: VALORIZAÇÃO ENERGÉTICA E NOVOS USOS

Carlos Alberto Ferreira Lagarinhos
Mônica Speck Cassola

PRÓXIMA

Realização:



ICTR – Instituto de Ciência e Tecnologia em Resíduos e Desenvolvimento Sustentável
NISAM - USP – Núcleo de Informações em Saúde Ambiental da USP



Reciclagem de Pneus Inservíveis: Valorização energética e novos usos

*Carlos Alberto Ferreira Lagarinhos²
Mônica Speck Cassola³*

Resumo

Este trabalho tem por objetivo identificar as possibilidades de reciclagem de pneus inservíveis para redução de doenças como a dengue e a febre amarela, aumento da vida útil dos aterros sanitários e eliminar o passivo ambiental. O descarte de pneus vem se tornando um problema mundial. A disposição em aterros torna-se inviável, já que o pneu apresenta baixa compressibilidade e degradação muito lenta, além disso, quando enterrados tendem a subir e sair para a superfície. Em 26 de agosto de 1999, foi aprovada a resolução nº 258 do Conama, que obriga os fabricantes, importadores e distribuidores a reciclar um pneu a cada quatro produzidos, importados ou distribuídos, a partir de 2002. A Anip – Associação Nacional das Indústrias de Pneumáticos, montaram três centros de trituração de pneus inservíveis em São Paulo (Jundiaí, Sorocaba e SBC). Os pneus são triturados e as lascas de borracha são enviadas para co-processamento e fabricação tapetes automotivos recicláveis, além do fornecimento para a indústria de pavimentação asfáltica. A análise dos vários mercados para utilização de um número significativo de pneus inservíveis mostra que somente dois tem potencial: o energético e o de misturas asfálticas.

Palavras Chave: Pneus; Combustíveis alternativos; Asfalto-Borracha.

2 Engenheiro Mecânico da Goodyear, Mestre em Tecnologia Ambiental do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S/A.

3 Engenheira de Minas, Doutora em engenharia, pesquisadora do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S/A.

Introdução

O descarte de pneus inservíveis vem se tornando um problema mundial, principalmente a partir dos anos 70. No passado, pouca importância foi dada ao assunto: carcaças de pneus eram dispostas em enormes aterros nos países mais desenvolvidos. Em países mais pobres e mais atrasados, simplesmente o problema era ignorado, muitas vezes os destinos finais desses pneus eram terrenos baldios, rios, córregos etc.

A disposição em aterros torna-se inviável, já que apresentam baixa compressibilidade e degradação muito lenta. Além disso, quando enterrados, tendem a subir e sair para a superfície.

Além do aspecto da má impressão causado por acúmulo de imensas pilhas de pneus, existe ainda a preocupação com a proliferação de vetores como a malária e a dengue e dos incêndios acidentais ou provocados, pois à poluição visual e à agressão a natureza soma-se uma violenta poluição atmosférica, fora de qualquer controle.

Nos Estados Unidos foram gerados em 2002, 281 milhões de pneus inservíveis, deste montante, somente 77,6% foram reciclados, reusados e recuperados, conforme a tabela 1:

Tabela 1 – Reciclagem, Reuso e Recuperação de pneus Inservíveis nos EUA.

Aterros Sanitários	10%
Exportação de carcaças de pneus	5,3%
Engenharia Civil	14,2%
Combustível derivado de pneus	40,9% (Utilizada em fornos de cimento)
Miscelâneas	2,5%
Borracha Triturada	11,7% (Utilizada na pavimentação asfáltica)
Desconhecido	12,5%

Fonte: Rubber Manufacturers Association, 2002.

O Brasil produz 45 milhões de pneus, sendo que 15% são destinados à exportação.

Algumas estimativas indicam que são geradas 35 milhões de carcaças de pneus anualmente (Fiori, 1998) e que existem mais de 100 milhões de pneus inservíveis abandonados em todo o país (Sato, 1999).

Foi aprovada, em 26 de agosto de 1999, a resolução nº 258 do Conama, que institui a responsabilidade, ao produtor e ao importador pelo ciclo total do produto. A partir de 2002, fabricantes e importadores de pneus serão obrigados a coletar e a dar destinação final de forma ambientalmente correta, conforme a tabela 2.

Tabela 2 – Reciclagem de Pneus Inservíveis (Fabricantes, Importadores e Distribuidores) Resolução nº 258 de 26 de agosto de 1999 – Conama (Conselho Nacional de Meio Ambiente).

Ano	2002	2003	2004	2005
Pneus Reciclados	25%	50%	100%	125%

Um dos maiores desafios para a indústria da reciclagem é convencer o consumidor a não levar os pneus velhos para casa. Após a troca por pneus novos nas revendas, os consumidores tendem a levar os pneus velhos para casa, pressupondo que estes tenham algum valor comercial.

A Anip – Associação Nacional das Indústrias de Pneumáticos, montou três centros de trituração em São Paulo (Jundiaí, Sorocaba e São Bernardo do Campo) e está organizando a coleta de pneus em seis ecopontos pelo País. Com isso em 2002, foi superada a meta do Conama, que era de 80 mil toneladas, e acabou reciclando 115 mil toneladas.

A análise dos vários mercados para utilização de um número significativo de pneus inservíveis mostra que somente dois tem potencial: o energético e o de misturas asfálticas (Heitzman, 1992; Zanzotto&Kennepohl, 1996). Será mostrado, a seguir, o processo de micronização da borracha e os seus vários mercados, a utilização da borracha triturada na pavimentação asfáltica e no co-processamento na indústria de cimento.

Micronização da Borracha

A empresa Borcol, fabricante de tapetes automotivos recicláveis, junto com a ANIP – Associação Nacional das Indústrias de Pneumáticos, inauguraram no Brasil o maior centro de trituração de pneus inservíveis da América Latina, com capacidade de tritar de quatro a seis toneladas por hora de pneus inservíveis. O investimento foi feito pelas quatro maiores fabricantes de pneus do Brasil: Goodyear, Pirelli, Bridgestone e Michelin, no valor de US\$ 1 milhão. O centro foi instalado ao lado da empresa Borcol em Sorocaba SP. O passivo ambiental da empresa é de 50.000 toneladas de pneus inservíveis, a empresa tem um prazo de três anos para eliminar esse passivo, a princípio os pneus serão triturados em pedaços de 2”, e serão utilizados na confecção de tapetes automotivos reciclados, com isso, reduzirá o custo da matéria-prima de 10 a 15%. A Anip, vai procurar outros consumidores para os pneus triturados, como co-processamento em fornos de clínquer, substituindo 20% do combustíveis utilizados, como óleo, carvão mineral e gás, e como pó de borracha para adição no asfalto (asfalto-borracha).

A figura 1 mostra o estoque de pneus inservíveis, recolhidos pelas revendas e ecopontos, e transportados para o centro de trituração de pneus inservíveis localizado na cidade de Jundiaí SP. O destino final após a trituração nos moinhos tipo faca, é o co-processamento em fornos de clínquer, substituindo recursos não-renováveis, como o óleo, carvão mineral e gás. O carvão sul-africano utilizado nos fornos de clínquer gera 6280 kcal, o resíduo de pneus triturados chega a 8200 kcal, ou seja, um aumento de 30% além de reduzir de 10 a 30% um recurso não renovável, e utilizar um recurso disponível como os pneus inservíveis. O centro de trituração de Jundiaí tem capacidade de processar 50 toneladas de pneus inservíveis por dia.

A figura 2 mostra o processo de trituração de pneus inservíveis a temperatura ambiente. Os pneus são colocados sobre uma esteira transportadora, são alimentados em um moinho tipos facas, que tem alta capacidade de torque, os mesmos são triturados e caem sobre a segunda esteira transportadora que leva as lascas de pneu para uma área de expedição.

Na área de expedição do centro de trituração de pneus em Jundiaí SP, após esta etapa do processo, as lascas de pneus são transportadas por caminhão até a indústria cimenteira, para co-processamento em fornos de clínquer.



Figura 1 – Estoque de pneus inservíveis no centro de trituração de Jundiaí – SP.
Fonte: Notícias Goodyear, 2003.



Figura 2 – Trituração de pneus inservíveis – Jundiaí SP.
Fonte: Notícias Goodyear, 2003.

Foi inaugurada em dezembro de 2002, a UTEP – Usina Trituradora Ecológica de Pneus, localizada em São Mateus SP, a usina tem capacidade para reciclar 16.128 toneladas por ano, foi feito um investimento de US\$ 3.200.000,00 na usina.

No mercado já existem alguns padrões de borracha reciclada. Cada granulado é utilizado para um tipo de indústria, que o utiliza como matéria-prima ou complemento pra a fabricação de seus produtos.

Os padrões de fabricação:

Granulado de Borracha de 4 a 7 mm: Utilizado como matéria-prima para a fabricação de produtos de borracha como: tapetes; pallets; coxins automotivos; correias automotivas e industriais; tijolos para queima; alimentação de caldeiras e

fornos em geral. Utilizado com complemento para fabricação de produtos como: tubos; retentores; bombas, encanamentos etc; mantas de isolamento acústico e térmico; cintas para reboque e levantamento de cargas; sinalização de solo para tráfego;

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

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

Utilização de borracha de pneus inservíveis na pavimentação asfáltica

Muitos países têm desenvolvido legislação para direcionar seus departamentos de estradas de rodagem a investigar a possibilidade de utilização de materiais recicláveis em obras de pavimentação. O governo americano em especial tem incentivado a incorporação de borracha de pneus inservíveis nas misturas asfálticas. Nas misturas asfálticas existem dois processos:

Processo úmido (wet process): são adicionados partículas finas de borracha ao cimento asfáltico, produzindo um novo tipo de ligante denominado “asfalto-borracha”;

Processo seco (dry process): partículas maiores de borracha substituem parte dos agregados pétreos. Após a adição do ligante, formam um produto denominado “concreto asfáltico modificado pela adição de borracha”.

A adição da borracha triturada em misturas betuminosas, além de minimizar os problemas de disposição de pneus em aterros sanitários e, principalmente, de queima ou disposição em locais inadequados, pode também melhorar o desempenho dos pavimentos, retardando o aparecimento de trincas, selando as já existentes e aumentando a impermeabilização proporcionada pelos revestimentos asfálticos.

As vantagens da utilização dos asfaltos modificados pela adição de borracha em relação aos convencionais são:

- menor susceptibilidade térmica;
- melhor coesão;
- melhor resistência à tração e ao cisalhamento;
- melhor adesão e resistência à degradação;
- maior viscosidade;
- menor resistência ao envelhecimento;
- menor elasticidade.

Como desvantagens, temos o custo mais elevado, o risco de instabilidade na estocagem e a possibilidade de uma massa heterogênea. (Edel, G. 2002).

O Consórcio Univias iniciou as obras de recuperação de pavimento em seus principais trechos rodoviários no Rio Grande do Sul. Serão pavimentados 15 quilômetros da BR-386, entre Pouso Novo e Vila Assis, totalizando 126 mil metros quadrados de pista. A empresa Greca Asfaltos e a Universidade do Rio Grande do

Sul foram pioneiras na aplicação do asfalto-borracha na BR-116, no trecho entre Guaíba e Camaquã.

Aplicado inicialmente em um trecho experimental de um quilômetro, o asfalto-borracha ou ecológico deverá revestir extensos trechos de malha rodoviária concedida ao Unvias, nos Pólos de Lajeado, Caxias do Sul e Metropolitano, ao longo do Contrato de Concessão.

A Concessionária Ecovias Caminho do Mar, responsável pela BR-277 entre Curitiba e o litoral, está testando a utilização de asfalto-borracha nos quilômetros 51 a 56 da rodovia, na pista de descida para Paranaguá. O custo da aplicação do asfalto-borracha é 20% acima da aplicação convencional. Hoje, estão sendo avaliados mais de 32 quilômetros de asfalto-borracha em rodovias brasileiras. A primeira aplicação no Brasil, ainda de forma experimental, foi realizada em agosto de 2001, no Rio Grande do Sul.

Estudos realizados em parceria com a Universidade Federal do Rio Grande do Sul revelaram um crescimento de 30% da vida útil do pavimento com o acréscimo da borracha, por outro lado o veículo tem mais aderência ao pavimento, freando em menos tempo. (Morilha, A. J, 2003).

O Asfalto-Borracha (AR) é uma mistura de asfalto, borracha moída de pneus (BMP), diluente e alguns aditivos especiais, onde o teor de borracha é no mínimo 18% em peso.

Esta mistura é efetuada a quente, sob condições controladas, e o produto final obtido, o Asfalto-Borracha apresenta maior atrito entre os pneus dos veículos e o pavimento e reduz sensivelmente o nível de ruído.

Ainda não há como monitorar o desempenho das aplicações de Asfalto-Borracha no Brasil, uma vez que somente agora se começa a falar no assunto e não existe aplicação alguma nem em título de teste com mais de 10 anos.

No Brasil, a Petrobrás Distribuidora, tem estudado o comportamento das misturas com asfalto-borracha no Analisador Automático de Pavimentos Asfálticos (APA), conforme figura 3, que simula o envelhecimento e o desgaste de um pavimento após 10 anos de uso severo, em apenas 2 horas.



Figura 3 – Analisador Automático de Pavimentos Asfálticos.
Fonte: Petrobrás Distribuidora, 2003.

Já existem plantas de micronização de pneus inservíveis, mas a maioria destas indústrias desconhece os efeitos da borracha no asfalto e não possuem um controle rígido da granulometria produzida. Não existem no Brasil, parâmetros ou normatizações para a borracha moída, nem quanto à origem nem quanto à composição.

Foi feita uma aplicação de Asfalto-Borracha num trecho experimental de 1,4 Km, entre os quilômetros 27,7 e 29,1 da Rodovia SP-191, entre os municípios de Conchal e Araras. O projeto original seria a aplicação da massa asfáltica produzida

com asfalto convencional (CBUQ), o desafio foi substituir a camada de 8 cm de CBUQ por uma camada delgada de, no máximo 2,5 cm produzida com Asfalto-Borracha. O ligante CAPFLEX-B, denominado Asfalto-Borracha pela Petrobrás Distribuidora foi aplicado com espessura de 2,2 cm, inferior ao projeto original.

A figura 4 mostra a diferença de pavimentos asfalto convencional e asfalto com adição de borracha (asfalto borracha).

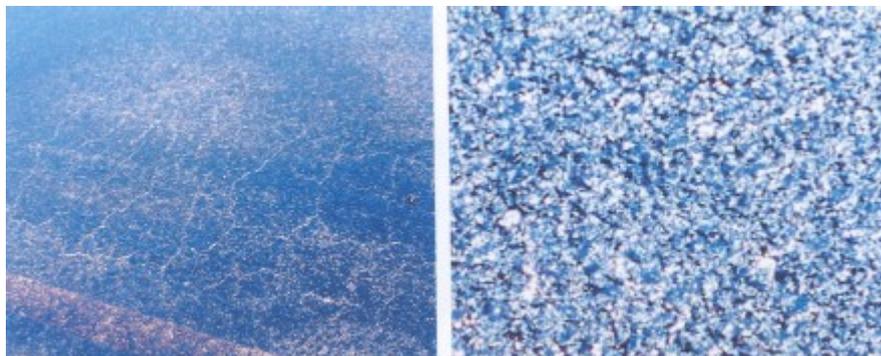


Figura 4 – Aspectos da pista antes e após a aplicação da camada de asfalto-borracha.
Fonte: Petrobrás Distribuidora, 2003.

Co-Processamento de pneus inservíveis em Fornos de Clínquer

O co-processamento de resíduos industriais em fornos de cimento é a melhor solução para eliminar passivos ambientais, ou seja, aqueles materiais que sobram no final da cadeia produtiva da atividade de outras indústrias ou após o final da vida útil, como por exemplo, pneus etc. Não há destino mais adequado para os resíduos industriais do que o co-processamento. Além dos benefícios econômicos e das vantagens do próprio processo sobre outras alternativas, como a incineração e o aterro sanitário o co-processamento exige investimentos compatíveis com os retornos proporcionados e, muito importante, não gera resíduos adicionais.

No forno de cimento os resíduos são aproveitados como energia ou matéria-prima, incorporando a massa de cinza gerada na combustão, que se agrega ao clínquer.

As vantagens do co-processamento:

Para o meio ambiente – evita poluição e reduz a queima de combustíveis fósseis e/ou exploração de reservas geológicas como matéria-prima do cimento. É o uso racional dos recursos naturais visando atender as necessidades das futuras gerações.

Para os geradores de resíduos – livram-se de um sério passivo ambiental com a certeza de que estão sendo ambientalmente corretos perante a sociedade e os órgãos públicos.

Para a cimenteira – economiza combustível e matéria-prima, mas assume os riscos ambientais e os custos de uma operação adicional.

O forno de cimento é a alternativa ambiental mais viável para a destruição de pneus. No Brasil, a queima de pneus atinge cerca de 10 mil toneladas por ano, enquanto que nos Estados Unidos este volume é de 685.000 toneladas por ano (ABCP, 2002).

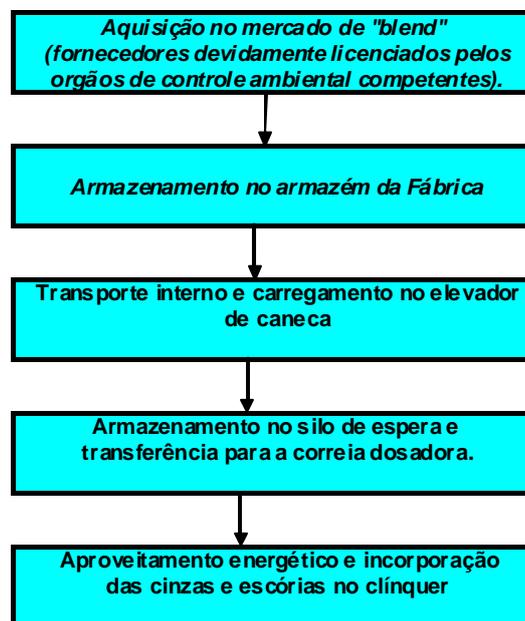
O reaproveitamento energético (fornos de cimento e usinas termoelétricas) libera entre 8,3 a 8,5 kW por hora de energia por quilograma de pneu queimado. Esta energia é até 30% maior que a contida em 1 kg de madeira ou carvão. As

indústrias de papel e celulose e as fábricas de cal também são grandes usuárias de pneus em caldeiras, usando a carcaça inteira e aproveitando alguns óxidos contidos nos metais dos pneus radiais.

Condições favoráveis para o co-processamento de resíduos em fornos de clínquer:

- Longo tempo de residência;
- Disponibilidade de oxigênio, para a oxidação térmica de resíduos;
- Estabilidade térmica do forno devido ao seu porte e ao alto consumo de combustível, dificultando variações bruscas de temperatura interna ao longo do forno;
- Atmosfera alcalina no interior do forno que favorece a neutralização dos gases ácidos formados no processo, como SO₂, HCl, HF e HBr;
- Possibilita retornar todo ou grande parte do material particulado coletado nos sistemas de despoeiramento para o processo;
- Incorporação de materiais semivoláteis e não-voláteis ao cimento sem comprometer sua qualidade;
- Utilização de equipamentos de altíssima eficiência, como filtros-manga e filtros eletrostáticos;
- Taxas de alimentação de matérias-primas entre 100 e 200 toneladas por hora, possibilitando o tratamento de algumas toneladas de resíduos por hora;
- provisão contínua de combustível;
- máxima recuperação energética.

Diagrama do co-processamento de pneus triturados



As unidades que co-processam resíduos têm optado por trabalhar com uma mistura de resíduos denominada blend ou mix. O blend, por se uma mistura homogênea, de composição e granulometria controladas, preparada a partir de resíduos de diversas procedências, ou da mistura destes com um material base, do tipo de combustível, auxilia a garantir a constância das características físico-químicas da mistura dentro dos limites operacionais do processo e das restrições ambientais.

Assim, a utilização do blend auxilia no controle das taxas máximas de alimentação de alguns elementos e, ainda, ajuda a evitar perturbações nas condições operacionais do forno, causadas, principalmente, pelas variações da composição do resíduo alimentado, causando modificações no perfil das emissões atmosféricas geradas pelo forno.

Considerações Finais

Os dois grandes mercados para utilização de um número significativo de pneus inservíveis no Brasil são: o co-processamento em fornos de clínquer e a pavimentação asfáltica.

Um dos grandes problemas enfrentados no processo de reciclagem de pneus é o processo de logística reversa. Os custos para trituração de pneus inservíveis são muito altos, principalmente para aplicações na pavimentação asfáltica.

Bibliografia

- EDEL, G. **Pneus Inservíveis e asfalto: União que beneficia estradas e meio ambiente**, 2º Simpósio sobre Obras Rodoviárias RODO 2002, São Paulo, 23 a 25 setembro de 2002, p. 10.
- GOODYEAR. Fazendo a coisa certa. **Notícias Goodyear**. Ano VI, nº 17, p. 22 à 25.
- GUIA DO PARANÁ. **Rodovia das Praias testa asfalto ecológico**. Disponível em: <<http://www.guiaparana.com.br/noticias/html/1042821878.html>> Acesso em: 24 abr. 2003.
- HICKS, R. G. **Effect of Material Variables on Mix Modulus and Fatigue**. Department of Civil Engineering, Oregon State University, USA, July 1983.
- HOLCIM. **Corporate Sustainable Development Report 2002 Holcim Ltd**. p.18 a 21, 2003.
- MARILIN, M. S, SILVA, C. C. A. Co-processamento: o controle das emissões confirma a segurança desta alternativa de tratamento. **Meio Ambiente Industrial**. Ano VII Edição 42 nº 41 março/abril de 2003. p. 50 à 54.
- MARINGOLO, V, KIHARA, Y. Co-processamento em expansão, com produto de qualidade ambiental. **Revista Saneamento Ambiental**, nº 90 – Setembro/Outubro de 2002.
- OLMOS, M. Goodyear investe em fidelidade na reposição. **Valor Econômico**. São Paulo, 05 dezembro 2002, p. B1.
- PETROBRÁS DISTRIBUIDORA S/A. **Asfalto e Pneus Inservíveis, um casamento que dá certo!**. [mensagem pessoal] Mensagem enviada: <elaine@br-petrobras.com.br>
- PETROBRÁS DISTRIBUIDORA S/A. **Só faltava a estrada ser verde**. [mensagem pessoal] Mensagem enviada: <elaine@br-petrobras.com.br>
- SATO, S. Fabricantes e importadores de pneus terão de destruir produtos usados. **O Estado de São Paulo, São Paulo**, 27 ago. 1999. p.18.
- SUPEROBRA. Asfalto borracha virá case de sucesso nas rodovias brasileiras. Disponível em: <<http://www.superobra.com.br/admin>> Acesso em: 24 abr. 2003.
- VOTORANTIM CIMENTOS. Co-processar é um ato de responsabilidade ambiental. **Revista Visão Comum**. Ano 4 nº 18, fev. 2002, p. 7.
- VOTORANTIM CIMENTOS. **Relatório Ambiental Preliminar – RAP para co-processamento de resíduos industriais no forno de clínquer do Cimento Rio Branco – Fábrica Santa Helena**. p.107, setembro/2001. Disponível em: <<http://www.ambiente.sp.gov.br/audiencia/rap/votorantimrap353-2001.pdf>> Acesso em: 01.mar.2003.
- ZANZOTTO, L.; KENNEPOHL, G.J. **Development of Rubber and Asphalt Binders by Despolymerization and Desvulcanization of Scrap Tires in Asphalt**. Washington, D. C.: TRR, 1996. (Transportation Research Record).

Recycling of used tires: Alternative uses and energy source

*Carlos Alberto Ferreira Lagarinhos²
Mônica Speck Cassola³*

Abstract

The purpose of this work is to illustrate the possibilities of recycling waste tires, in order to reduce diseases as dengue and yellow fever, to increase the life of landfill and to eliminate the environmental liabilities. The discarded waste tires have become a worldwide problem. The disposal in landfills becomes impracticable as the waste tire shows a low compression and a slow degradation. Besides, when they are buried under the earth tend to ascend and go to surface. At 26 august 1999, it was approved CONAMA resolution number 258 by that obligates the manufactures, the importers and the distributors since 2002 to recycle one waste tire per four new manufactured tire. The Anip – National Pneumatic Industry Association assembles three grinding centers of waste tires in São Paulo (Jundiaí, Sorocaba e SBC). The waste tires are grinded and the rubber flakes are sent to cement kiln and they are used as alternative fuel, carpet car industry, rubber asphalt industry. The analysis of several recycle waste tires markets shows there are two possibilities: power and mixed asphalt to reduce a significative number of waste tires.

Key words: tires; alternative fuels; asphalt rubber.