

**XI SILUBESA*****Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental***

28/03 a 02/04/2004 - Natal - Rio Grande do Norte - Brasil

### **III-008 - A REDUÇÃO, REUTILIZAÇÃO, RECICLAGEM E REAPROVEITAMENTO ENERGÉTICO DE PNEUS INSERVÍVEIS.**

**Almir José Diogo Gobbi<sup>(1)</sup>**

Engenheiro Químico pela UFRRJ. Especialização em Engenharia Sanitária e Ambiental pela UERJ. Mestre em Engenharia Sanitária e Ambiental pela UERJ.

**Elisabeth Ritter**

D. Sc. em Engenharia Civil (Geotecnia Ambiental) pela COPPE/UFRJ, Professora Adjunta do Deptº. Eng. Sanitária e do Meio Ambiente - FEN/UERJ

**João Alberto Ferreira**

D. Sc. em Saúde Pública, M.Sc. em Engenharia Ambiental, Professor Adjunto do Deptº. Eng. Sanitária e do Meio Ambiente - FEN/UERJ

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Alberto de Campos, 65 Apto.303 – Ipanema – Rio de Janeiro - RJ - CEP: 22411-030 - Brasil - Tel: +55 (21) 2523-6487 - Fax: +55 (21) 2247-5385

**e-mail** [almirgobbi@ig.com.br](mailto:almirgobbi@ig.com.br)

#### **RESUMO**

A disposição final dos pneus inservíveis tornou-se um dos principais problemas ambientais em todo mundo, desafiando os fabricantes a buscarem alternativas de destinação final adequada para estes pneus. Este trabalho tem como objetivo apresentar algumas alternativas de reaproveitamento dos pneus inservíveis, seja como fonte de energia, seja como matéria-prima, associando cada uma delas ao conceito dos 4R's, ou seja, Redução, Reutilização, Reciclagem e Recuperação Energética. A conclusão final deste trabalho é que todas as alternativas apresentadas são extremamente importantes, pois cada uma delas pode contribuir para a resolução do problema. Contudo, as alternativas de Recuperação Energética são as mais viáveis atualmente, pois podem dar uma destinação ambientalmente correta a grandes quantidades de pneus inservíveis sem muita preparação prévia destes pneus.

**Palavras-chave:** Pneus, Redução, Reutilização, Reciclagem, Recuperação Energética

#### **INTRODUÇÃO**

Atualmente a proteção do meio ambiente tornou-se um sinal de qualidade de vida. A qualidade do meio ambiente passa, particularmente, pela recuperação dos produtos usados, sua reutilização e reciclagem, antes deles começarem a poluir a paisagem. A reciclagem já é uma parte integrante do comércio, e rapidamente se expande. Nos países industrializados, tanto a reciclagem quanto a reutilização são motivadas não só por razões ambientais, mas também por razões econômicas.

Com este debate, acentua-se a discussão de que alguns produtos inservíveis começam a ser tratados, urgentemente, de outra forma. Os pneus estão dentro desta categoria de produtos inservíveis.

Estima-se que são descartados nos Estados Unidos 280 milhões de pneus inservíveis anualmente. Em todo o globo terrestre, a estimativa de pneus descartados por ano é superior a 2 bilhões de unidades. Deste volume menos de 20% são reciclados.

Segundo a ANIP – Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos, em 2001, o Brasil produziu 41,3 milhões de pneus. A produção por categorias é assim distribuída: 4,65 milhões de pneus para caminhões / ônibus, 3,52 milhões

para camionetes, 26,2 milhões para automóveis, 3,6 milhões para motos e 3,33 milhões para outros usos. Em 2002 houve um crescimento de 10 % na produção de pneus no Brasil e a previsão para 2003 é de um acréscimo de 5 % sobre 2002.

Estima-se que a frota nacional de veículos automotores gere mais de 30 milhões de pneus inservíveis por ano, e que estes pneus vêm sendo extensivamente dispostos de maneira incorreta no meio ambiente.

O agravamento da situação ocorre pelo fato do pneu, como todo bem de consumo, ser produzido em grande escala nas linhas de produção, ocupar um volume expressivo, e possuir também propriedades elásticas e de baixa biodegradabilidade, propriedades estas necessárias à sua utilização.

Este trabalho tem como objetivo apresentar uma discussão sobre as possibilidades de reaproveitamento de pneus inservíveis, com o enfoque nos 4 R's, sendo que dentro de cada uma destas possibilidades serão discutidas algumas alternativas existentes, bem como uma análise da viabilidade das mesmas, com foco direto no contexto e na realidade brasileira.

### CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA DOS PNEUS INSERVÍVEIS

A resolução CONAMA 258/99, de 26 de agosto de 1999, representou um grande avanço na concepção da gestão de resíduos, responsabilizando o fabricante pelo seu produto, desde a fabricação até o final de sua utilização (do berço ao túmulo). Esta resolução define que, a partir de 2002, os fabricantes de pneus passaram a ter o compromisso de dar destinação ambientalmente adequada aos pneus inservíveis. A mesma se baseia nas quantidades produzidas, começando com um percentual de 25%, aumentando gradativamente, e chegando em 2005 a 125% da produção, valor este firmado, para que os fabricantes possam tratar do passivo acumulado durante todos estes anos. Na tabela 1 é mostrado o resumo dos percentuais de reciclagem de pneus inservíveis, de 2002 a 2005.

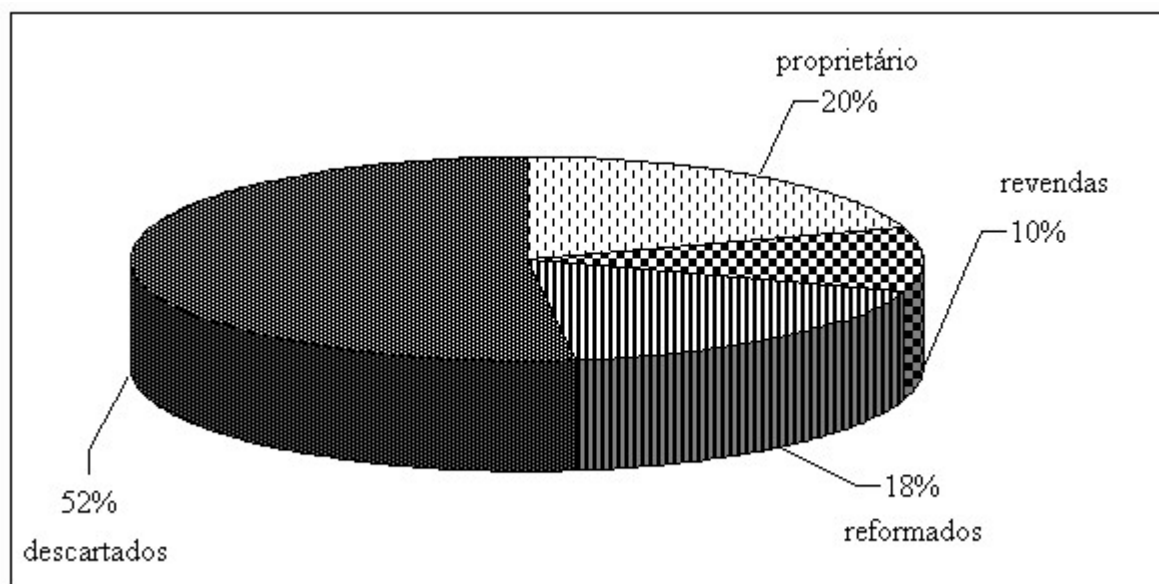
| Tabela 1 – Resumo da resolução CONAMA 258/99<br><br>A PARTIR DE | PNEU NOVO    |            | PNEU REFORMADO |            |
|-----------------------------------------------------------------|--------------|------------|----------------|------------|
|                                                                 | PRODUÇÃO     | RECICLAGEM | REFORMA        | RECICLAGEM |
| 1º de Janeiro de 2002                                           | cada 4 pneus | 1 pneu     | N.A.           | N.A.       |
| 1º de Janeiro de 2003                                           | cada 2 pneus | 1 pneu     | N.A.           | N.A.       |
| 1º de Janeiro de 2004                                           | cada 1 pneu  | 1 pneu     | cada 4 pneus   | 5 pneus    |
| 1º de Janeiro de 2005                                           | cada 4 pneus | 5 pneus    | cada 3 pneus   | 4 pneus    |

Fonte - CONAMA 258 (1999)N.A. - Não Aplicável.

A importância desta resolução, no Brasil, está representada na Figura 1. Da totalidade dos pneus de automóveis substituídos na rede de revendedores autorizados, cerca de 20% são mantidos com o proprietário. Do restante, que são coletados pelos sucateiros, 10% voltam a pontos de revenda, 18% são reformados e 52% são descartados clandestinamente ou incinerados ilegalmente.

O pneu é um material termorrígido, que ao ser colocado no meio ambiente, tem uma vida média de 600 anos para se degradar. Durante seu processamento, a borracha, que está presente nos pneus, sofre uma mudança radical em suas características originais, tornando-a apta às necessidades de utilização, porém com enormes dificuldades de reversibilidade. E estas dificuldades tornam os pneus um problema em potencial para o meio ambiente, quando de sua destinação final, em sua forma original.

**Figura 1 – Situação de pneus inservíveis de automóveis no Brasil**



Fonte – Michelin (2000)

Podem ocorrer 3 tipos de problemas causados pelo descarte de pneus inservíveis de forma indiscriminada no meio ambiente: o impacto ao meio ambiente, os problemas ligados à saúde pública e por último, às dificuldades de coleta e transporte destes pneus, quando de sua retirada do meio ambiente.

O *impacto ao Meio Ambiente* ocorre quando os pneus são estocados em aterros clandestinos ou mesmo em aterros sanitários. Um risco é o de poluição devido à possibilidade de incêndio, pois os pneus são compostos de material altamente inflamável e podem queimar causando deterioração do meio ambiente. E, se os mesmos são estocados em grande quantidade, existe ainda a dificuldade de se controlar o incêndio, caso ele ocorra. Desta queima emanam fumos negros, oriundos da combustão incompleta, que contribuem para o aumento da presença de CO, SO<sub>2</sub> e material particulado no ar. Além disso, há liberação gasosa de dioxinas, substâncias cancerígenas. A queima de pneus pode ainda contaminar o ambiente com organoclorados, compostos de zinco, cromo, cádmio e chumbo, substâncias estas que entram na composição química do pneu.

O segundo grande problema se refere à *saúde pública*. O efeito da estocagem de pneus, sem a devida precaução em relação a sua proteção, cria a possibilidade de, ali, se tornar um reservatório de água estagnada e favorecer assim, a proliferação de insetos nocivos e vetores, visto que o pneu, por sua própria geometria, favorece muito o acúmulo de água em seu interior. Esta situação é uma das responsáveis pela proliferação do mosquito *Aedes aegypti*, transmissor da dengue, doença tipicamente tropical, e que em 2002, causou a maior epidemia da doença na história do Rio de Janeiro.

Existe ainda um terceiro problema relacionado à *coleta e ao transporte* destes pneus que constitui um grande obstáculo para a retirada de pneus inservíveis do meio ambiente e dar a eles uma destinação adequada. A grande quantidade de pneus espalhados por todo o território dificulta a constituição de uma estrutura adequada para o seu recolhimento, de uma forma ambientalmente segura.

## CARACTERIZAÇÃO DO PRODUTO

O pneu é uma cinta de borracha, deformável e elástica, que é fixada na roda de certos veículos e que protege o conjunto montado, oferecendo a possibilidade de movimentação, com segurança e conforto aos usuários destes veículos. O pneu é composto de borracha, aço e produtos químicos. A borracha necessita ser vulcanizada, para poder oferecer as características imperativas ao pneu durante sua rodagem.

Uma vulcanização se baseia no trinômio: Temperatura, Pressão e Tempo.

A *temperatura* permite que as reações de reticulações, ou seja, a vulcanização possa vir ocorrer, através das pontes de enxofre (agente vulcanizante) e a cadeia molecular dos elastômeros.

A *pressão* permite a junção das interfaces, a eliminação de bolhas de ar e, por conseguinte a moldagem. Existem duas pressões, a de autoclave e a contra-pressão. A pressão de autoclave é a pressão exercida do exterior para o interior da carcaça. A contra-pressão é a pressão exercida do interior para o exterior da carcaça, equilibrando as pressões sobre a

carcaça, evitando possíveis deformações.

O tempo se faz necessário para que os efeitos de temperatura e pressão cheguem a um valor ideal de eficácia.

Os pneus podem ser fabricados por dois métodos diferentes: o método convencional e o método radial.

O *Método Convencional* foi desenvolvido no fim do século XIX e já se encontra ultrapassado. Ele consiste na sobreposição de lonas, normalmente têxteis, dispostas diagonalmente, formando um ângulo de 45°. São os chamados Pneus Diagonais. Este método foi substituído pelo Método Radial.

O *Método Radial* foi desenvolvido em 1948. Este método é mais moderno e eficaz, apesar de não alterar significativamente a natureza do produto. Atualmente todos os fabricantes produzem pneus radiais. Os cabos da napa carcaça (o esqueleto de um pneu), são orientados radialmente em relação ao centro do pneu, fazendo ângulo de 90°, em torno do aro. É cinturada no topo por várias napas de aço cruzadas, formando triangulações. Esta estrutura confere ao pneu algumas vantagens importantes, como segurança, conforto e economia de combustível.

Os produtos utilizados para a construção de um pneu são de baixíssima degradabilidade. O princípio de vulcanização é praticamente irreversível, pois ele altera a natureza das ligações químicas dos componentes, formando as pontes de enxofre, ligações químicas bastante rígidas e conseqüentemente muito estáveis.

A composição química de um pneu radial varia pouco e depende do tipo de pneu. Na média, pode-se dizer que 50% da composição de um pneu é borracha e que os outros 50% podem ser distribuídos da seguinte maneira: 25% de negro de carbono, 20% de aço e 5% de produtos químicos diversos.

O pneu é o único contato do veículo com o solo e suas funções são diversas e bem definidas. A primeira função de um pneu é de carregar sua carga, ou seja, ele deve suportar toda a carga considerada a ser transportada. Ele deve também transmitir todo o esforço de movimento e frenagem do veículo. Outra função importante é de proporcionar uma dirigibilidade perfeita e suave, garantindo com isso a segurança do veículo.

Por fim, uma função relacionada com o conforto do usuário é de absorver choques e golpes devidos a acelerações ou frenagens bruscas ou às irregularidades das estradas.

Um pneu é um produto que é dividido em diversas regiões bem delimitadas. As mais importantes são a banda de rodagem, o ombro, o flanco ou lateral, o talão e a zona interna.

A **banda de rodagem** é a região do pneu que faz o contato do veículo com o solo. Ela deve fornecer segurança, além de conforto, e deve permitir um compromisso entre a boa aderência e a baixa resistência ao rolamento. O **ombro** de um pneu é a região onde se faz a ligação da banda de rodagem, que é rígida, com o flanco do pneu que deve ser extremamente flexível. O **flanco** é a região do pneu que deve suportar toda a carga e as constantes flexões mecânicas. Deve resistir às agressões externas e climáticas, porque esta região é a mais crítica nas análises para reforma de um pneu. O **talão** tem como finalidade fixar o pneu na roda, além de garantir a estanqueidade, principalmente nos pneus a base de arames de aço, e de assegurar a transmissão dos esforços de aceleração e frenagem. A zona interna tem como função garantir a estanqueidade do pneu sem câmara, e acomodar a câmara de ar, nos pneus com câmaras.

Um pneu de passeio pode rodar entre 40.000 e 50.000 km, enquanto um pneu de camionete pode chegar a rodar entre 60.000 e 70.000 km. Já os pneus de carga, que equipam os ônibus e caminhões podem atingir marcas ainda muitas maiores, chegando, às vezes, a rodar cerca 180.000 ou até 200.000 km. Após esta quilometragem, o pneu começa a aparentar sinais de desgaste e é neste ponto, que uma análise cuidadosa deve ser realizada, até por técnicos especializados, para definir o que será realizado com o pneu, que neste ponto tornou-se um pneu inservível.

Atualmente pode-se classificar os pneus inservíveis em 2 categorias: reformáveis ou não reformáveis. Os reformáveis podem ser reutilizados como pneus após uma reforma; os pneus inservíveis não reformáveis (que não aceitam reformas) devem ter destino diferente daquele que não a reutilização como pneu.

Aos pneus inservíveis reformáveis, se aplica uma técnica que consiste em substituir a banda de rodagem e eventualmente a napa de proteção, com ou sem a reparação da carcaça. Uma observação importante é que muitos pneus não podem ser reformados. A seleção é muito severa, pois existem alguns critérios de qualidade (definição dos defeitos com suas tolerâncias para a classificação) que não são admissíveis para a reforma, como por exemplo, rasgos nas laterais causados por batidas em meio-fio.

## ALTERNATIVAS PARA GERENCIAMENTO DOS PNEUS INSERVÍVEIS

Há vários anos se assiste a mudança de mentalidade no que concerne aos pneus usados. Até a metade da década de 70, ninguém se preocupava verdadeiramente em saber onde um pneu, já sem utilidade, era depositado. Na década de 80, começaram a ocorrer reflexões neste sentido, mas ainda muito lentas, pois até os fabricantes não tinham ainda tentado utilizar componente reciclado da borracha. Nesta época, quase a totalidade dos pneus era jogada fora, no final de seu uso, sendo que apenas 15 % eram recauchutados.

Atualmente o ciclo de um pneu usado deve compreender 2 fases chaves: a coleta e a valorização. Entende-se por valorização, retirar o pneu de seu circuito tradicional, ou seja, evitar que o mesmo se torne um produto inservível, do ponto de vista "pneu", redirecionando-o para outros fins, onde o mesmo possa ser reaproveitado, em parte ou totalmente em uma outra cadeia produtiva. Essa valorização do pneu inservível pode ocorrer de formas diferentes e obedecer perfeitamente o conceito dos 4 R's, ou seja: *Redução, Reutilização, Reciclagem e Recuperação energética*. A seguir, estas diferentes formas são mostradas associadas ao "R" correspondente.

#### Redução:

O pneu é valorizado, tornando-se um produto com um tempo de vida cada vez maior, onde naturalmente ocorre uma redução da frequência de reposição por um outro pneu novo. Assim, ou se produz um pneu muito resistente ao desgaste, ou se produz um pneu que suporte uma ou várias reformas. Com estas opções, há certamente uma redução da necessidade de reposição, e com isso, uma valorização do pneu.

#### Reutilização:

Esta técnica consiste em valorizar o pneu inservível utilizando-o para outros fins, sem uma transformação importante em suas características iniciais. Entende-se que desta forma, os pneus inservíveis, que seriam descartados no meio ambiente, podem continuar sendo utilizados em funções diferentes e, portanto reutilizados para outros fins.

#### Reciclagem:

Os pneus inservíveis podem ser reciclados de 2 modos diferentes: como borracha simplesmente triturada, que pode ser utilizada em diversas aplicações ou ainda como borracha regenerada, onde se busca conseguir propriedades similares à da borracha virgem.

#### Recuperação Energética:

Em função do alto poder calorífico, os pneus inservíveis podem ser utilizados na queima, em substituição a alguns combustíveis, como por exemplo, o carvão, sendo necessário, neste caso, controles rigorosos da qualidade do ar durante esta queima.

### **REDUÇÃO**

Consiste em reduzir a quantidade total de pneu, existente sobre a superfície terrestre. Esta é a mais importante de todas as valorizações para o pneu.

Primeiramente, os fabricantes de pneus buscam cada vez mais processar *borrachas mais resistentes* à rodagem, aumentando com isso a quilometragem do pneu, ocasionando aumento da vida útil do mesmo. Uma alternativa é a *reforma* do pneu, onde a banda de rodagem de um pneu, ao perder os sulcos, responsáveis pela aderência ao solo e a segurança, é substituída por uma banda de rodagem nova, tornando-o novamente apropriado a exercer sua função. Há ainda uma alternativa recente, onde os fabricantes começaram a produzir pneus com capacidades de cargas maiores, ou seja, um pneu pode substituir 2 pneus geminados nos eixos traseiros de ônibus e caminhões, sem qualquer comprometimento de performance. O que caracteriza a redução, neste caso, é que este pneu tem aproximadamente 70 % do peso da soma dos 2 pneus substituídos (Michelin, 2000).

#### Aumento da vida útil

Com a concorrência mais acirrada e a questão ambiental cada vez mais latente no contexto mundial, os fabricantes de pneus estão em uma guerra aberta e muito saudável para o meio ambiente. A cada ano, a cada modelo que é lançado no mercado, os fabricantes anunciam uma vida útil de rodagem cada vez maior para os pneus. Já existem pneus de automóveis sendo anunciado com vida útil de 80.000 km. As nossas estradas são as maiores responsáveis pelo desgaste de nossos pneus, visto que um pneu necessita de uma aderência integral ao solo por onde ele rola, e qualquer variação neste contato, dá início a um desgaste irregular, que no começo é mínimo e que rapidamente se transformará em um desgaste importante. Neste caso, a conduta dos motoristas em estradas brasileiras torna-se extremamente importante, devendo alguns procedimentos ser sistematicamente realizados, como por exemplo, balanceamento, alinhamento, a

calibragem e a escolha correta do pneu, em função do tipo de estrada, da velocidade, e do tipo do automóvel.

### Pneus Reformados

Entende-se por valorização como pneu reformado o fato de um pneu ter a sua vida média prolongada, através de uma ou várias reformas objetivando aumentar a vida útil da carcaça proporcionando um melhor custo por quilômetro rodado, e conseqüentemente reduzindo o impacto ambiental causado pela disposição inadequada deste resíduo no meio ambiente.

Nos Estados Unidos são reformados anualmente 15 milhões de pneus, e o Brasil, com o segundo lugar, reforma por ano, cerca de 8 milhões de pneus (Michelin, 2001). Isto se deve fundamentalmente a uma predominância de transporte rodoviário nestes países.

Existem três processos diferentes em que um pneu inservível pode ser reformado, conseguindo após esta reforma uma valorização, readquirindo condições para ser utilizado normalmente, em rodagem.

São eles: *Recapagem, Recauchutagem e Remoldagem*.

*Recapagem* é o processo pelo qual um pneu é reformado pela substituição da sua banda de rodagem. *Recauchutagem* é o processo pelo qual um pneu é reformado pela substituição da sua banda de rodagem e dos seus ombros.

*Remoldagem* é o processo pelo qual um pneu é reformado pela substituição da sua banda de rodagem, de seus ombros e de toda superfície dos seus flancos. Este último processo também é conhecido como recauchutagem de talão a talão. Estes três processos estão definidos na norma NBR NM 225, 2000, que trata da regulamentação de reformas de pneus na América Latina, definindo os critérios mínimos de seleção para reforma e reparação de pneus.

## **REUTILIZAÇÃO**

Consiste em utilizar o pneu, inteiro ou cortado em pedaços, para a fabricação de diferentes produtos de borracha. Neste conceito não há transformação importante do pneu, ou seja, o mesmo quase que mantém suas características iniciais inalteradas.

Algumas formas que têm sido utilizadas na reutilização de pneus estão descritas a seguir.

### Pneu-Solo

Uma das primeiras utilizações de pneus inservíveis na prática da Engenharia Civil ocorreu na década de 70, quando da reconstrução de um aterro reforçado com pneus em uma rodovia ao norte da Califórnia (Hausmann, 1990). É a técnica mais comumente utilizada dentro do domínio da valorização do pneu em estado, exigindo um mínimo de transformação na preparação do pneu e utilizando, ao máximo, a resistência dos diferentes constituintes, visto que os pneus são constituídos de borracha, reforçados com fibras têxteis ou metálicas, atribuindo-lhes elevada resistência a tensões radiais. Estas propriedades mecânicas permanecem nos pneus mesmo após sua vida útil como elemento de rodagem.

Esta técnica consiste em reagrupar os pneus de maneira linear, a fim de suportar esforços importantes de tração. Dentro de uma obra, o pneu-solo é arrumado em camadas horizontais, intercalados em relação à fileira seguinte, fazendo assim, uma arrumação estável, permitindo que haja uma parte frontal, onde esteticamente se possam plantar mudas de árvores, caso necessite, conforme mostrado na Figura 3. O conjunto pode ser preparado com pneus inteiros ou ainda com pneus cortados, ou seja, com a retirada de uma de suas laterais (Gerscovich et al., 2000).

A principal qualidade do pneu-solo é que ele permite uma melhor repartição dos esforços, dentro da massa do solo reforçado e sobre as fundações, sendo assim um excelente material para a engenharia civil, pois ele permite a construção de muros de sustentação, proteção de encostas e reforços de encostas.

### **Figura 3 – Detalhes de pneus utilizados em encostas**



**Fonte – Michelin (2000)**

#### Tapete Pneu

O tapete-pneu é um material antivibratório, utilizado na base dos trilhos, de trens e metrô, e os resultados constatados são particularmente encorajadores. Para diminuir as vibrações, o tapete-pneu é composto de uma sola de borracha colocada nos lugares onde a vibração é mais importante.

A técnica consiste em estender duas camadas cruzadas de bandas de rodagens de pneus inservíveis. O corte deve ser retilíneo e as bordas unidas. As bandas devem ser rebitadas uma sobre as outras por um grampo elástico a fim de evitar toda a propagação dos efeitos das vibrações (Masdoumier, 1994).

#### Drenagem de Biogás

O lixo doméstico contém matéria orgânica, que, ao fermentar, dá origem ao biogás. Os compostos principais deste biogás são metano e gás carbônico. Toda essa energia é recuperável comercialmente, mas existem desvantagens importantes em relação ao odor e aos riscos de explosão.

Para direcionar o gás para uma recuperação, se faz necessário construir drenos. A técnica de drenagem horizontal, utilizada unicamente na Europa, consiste em juntar os pneus de ônibus / caminhões que são mais resistentes, um do lado do outro. Este dreno é prolongado por um tubo de polietileno para permitir a ligação à estação de bombeamento. Os pneus são em seguida recobertos por lixo (Masdoumier, 1994).

As vantagens deste sistema de drenagem são: a colocação fácil dos pneus por pessoal não especializado, a maior resistência em relação aos drenos clássicos e um custo de material praticamente nulo, visto que os pneus inservíveis ainda podem ser encontrados nos aterros sanitários.

Existem alguns inconvenientes, pois com a umidade do chorume, pode ocorrer fermentação do lixo, e como consequência o rompimento do dreno. Para remediar este problema, o dreno é enrolado dentro de uma rede de proteção (Masdoumier, 1994).

#### Recifes Artificiais

Esta técnica de modificação física, principalmente do litoral ou de lagos, consiste em instalar no fundo da água ou posicionar próximo às margens, conjuntos sólidos estruturados de pneus inservíveis. Estas imersões se fazem de 10 a 50 metros, onde normalmente se encontra a ausência de fundações rochosas naturais. O objetivo destes recifes não é somente criar pólos de concentrações de fauna marinha, mas, sobretudo de proteger as costas contra a erosão das correntes marinhas. Esta técnica já é desenvolvida no Japão e nos Estados Unidos, a partir de 1960 (Masdoumier, 1994).

Na Inglaterra existem algumas restrições sobre tal reutilização, em função de alguns fatores, que ainda estão sendo

analisados. A degradação da borracha por raios ultravioletas, principalmente quando os pneus ficam situados em águas rasas e o aumento da possibilidade de abrasão, devido à movimentação das águas, fazem com que os ambientalistas deste país sejam bastante precavidos sobre o assunto (Collins, 2002).

No Brasil, em Angra dos Reis, existem testes em andamento, dos quais ainda não se têm resultados. Uma vez que nossa região costeira é bastante extensa, é importante que se multipliquem tentativas de aplicação desta técnica.

## RECICLAGEM

Entende-se por reciclagem de um pneu o fato de se conseguir reciclar os componentes de um pneu inservível, mas sob uma forma diferente, ou seja, a reciclagem não acontece sob a forma do próprio pneu e sim de partes destes pneus transformados em borracha triturada ou regenerada, normalmente misturada a outros produtos.

### Borracha Triturada

A borracha triturada, na destruição do pneu, que pode ser obtida por trituração mecânica ou criogenia.

A criogenia consiste em fragilizar o pneu dentro de um banho de nitrogênio líquido. O custo é muito elevado em relação à trituração mecânica, porém o resultado é muito mais satisfatório, pois se obtém uma carga mais fina, ou seja, com diâmetros de partículas menores, obtendo com isso com mais vantagens.

Na trituração mecânica podem-se obter grânulos de diversos tamanhos, variando de 30 micron a 300 milímetros, sabendo-se que quanto menor a granulação, maior o custo final do processo. Atualmente já existem empresas, localizadas em São Paulo, que são especializadas em trituração de pneus.

Este material pode, em seguida, ser utilizado em diversas aplicações.

Os principais seguimentos de mercado utilizadores de borracha triturada são a engenharia civil e as construtoras. Dentro destes setores, estas borrachas são utilizadas em várias situações descritas a seguir.

#### *\*Fabricação de solos esportivos*

Os compostos de borracha triturados têm um custo muito inferior ao composto sintético e trazem mais flexibilidade e permeabilidade, porém o mercado ainda não confia neste produto. Na fabricação destes pisos, a borracha triturada fica sob a camada ou na superfície do revestimento.

#### *\*Revestimentos de estradas e calçadas*

A idéia de se misturar betume com borracha é antiga. Os betumes emborrachados têm grandes perspectivas de desenvolvimento, pois eles trazem importantes características ao asfalto, como a melhoria da capacidade de deformação, melhor resistência à fadiga, menor susceptibilidade às variações de temperatura e uma melhor resistência ao envelhecimento.

Com esta técnica, a borracha triturada encontrou um mercado relativamente promissor, pois existem 1,7 milhões quilômetros de estradas no Brasil, sendo que somente 165 mil quilômetros são asfaltados (DNER, 2002).

A modificação ou melhoria dos ligantes asfálticos utilizados em pavimentação, com adição de borracha de pneus, é considerada uma alternativa atrativa para o melhoramento das propriedades dos materiais betuminosos, principalmente em relação à resistência à tração e à fadiga, bem como do aumento do envelhecimento diminuindo rachaduras e mais resistentes à umidade. (Leite et al, 2000)

Uma grande desvantagem deste processo é que a aplicação de asfalto com borracha normalmente é *just in time*, ou seja, a aplicação do ligante no tratamento por penetração ou na mistura asfáltica deve ocorrer em menos de 24 horas. Outra desvantagem é que devido ao caráter altamente viscoso do ligante, se faz necessária a utilização de temperaturas um pouco mais elevadas do que as tradicionalmente empregadas no Brasil, na usinagem e compactação dos asfaltos.

Todavia, ocorrem muitas vantagens entre as quais uma destinação adequada e ambientalmente segura aos pneus inservíveis (atendendo a resolução CONAMA 258/99) e geração de um ligante modificado por borracha vulcanizada de pneus inservíveis. Esta última vantagem melhora muito a textura do asfalto em termos de segurança ao rolamento, imprimindo desta forma uma rugosidade apreciável com características de anti-aquaplanagem (Morilha, 2002).



*\*Melhoria da impermeabilidade de solos argilosos na percolação de hidrocarbonetos:*

A borracha triturada pode também ser utilizada em misturas com argilas, melhorando a impermeabilidade deste material. A argila que é conhecida como material de baixa permeabilidade, tem sua performance questionada para percolantes diferentes de água (materiais apolares), como por exemplo, hidrocarbonetos.

Estima-se que, nos Estados Unidos 30% dos 2 milhões de tanques enterrados em todo o país, contaminem o solo com derivados de petróleo (Corseuil, 1996), sendo que a maioria destes encontra-se em áreas urbanas, o que aumenta ainda mais a gravidade dos impactos provocados (Elzedin et al, 1992). No Brasil existem 27.000 postos de gasolina e para se ter uma idéia do problema, só em Joinville, a prefeitura local estudou 65 postos da cidade e constatou que somente 1 posto não continha nenhum problema de contaminação do lençol freático (Corseuil, 1996).

Ao se misturar pedaços de borracha triturada com a argila e posteriormente, compactar esta mistura, até formar uma barreira homogênea, o petróleo, quando de sua percolação, passará pela borracha, que absorverá parte desse petróleo, aumentando o seu volume, e com esta expansão, ocupará os espaços vazios deixados pela argila, selando os poros da barreira. Com este aumento da capacidade de absorção pela mistura borracha-argila, a contaminação é retardada, proporcionando um tempo maior para a detecção e limpeza, antes mesmo da contaminação migrar para áreas mais distantes (Baykal & Alpatli, 2000).

A quantidade ótima de borracha adicionada para o funcionamento com sucesso da barreira de proteção deve ser bem estudada, de forma que esta quantidade não promova a flutuação da borracha no momento da percolação. Estudos realizados com adição de 10% de borracha, em peso, deram excelentes resultados (Baykal & Alpatli, 2000).

Por não apresentarem nenhum tipo de fratura a altas tensões, a mistura borracha-argila se apresenta como uma excelente técnica para a construção de barreiras de proteção para vazamentos de derivados de petróleo, como por exemplo, a gasolina.

#### Regeneração da Borracha

O objetivo deste processo é devolver, ao material vulcanizado, as propriedades originais do material, de onde ele se originou. Ele chega a quebrar as pontes de vulcanização, ligando as moléculas entre elas, dentro da borracha vulcanizada. A borracha deve se apresentar sob a forma de grânulos ou triturada (Masdoumier, 1994).

O regenerado tem as suas características próximas da composição original de borracha e quanto mais próximas essas características, melhor é a qualidade do regenerado.

A regeneração da borracha vulcanizada é um fenômeno de superfície, isto é, ela é feita na superfície da partícula ou grão da borracha vulcanizada, sendo, portanto, impossível de atingir o interior das cadeias químicas. Uma desvantagem desse processo é que o mesmo não pode ser empregado por um tempo muito longo ou não se pode utilizar maior pressão de vapor de água na digestão, uma vez que a mistura pode vir a se transformar em uma pasta ou em um óleo.

A borracha regenerada é utilizada na composição de borracha como carga semi-reforçadora para baratear o preço do produto final, cujas especificações se enquadram dentro de suas características. Pode-se utilizar a borracha regenerada em tapetes, solados, protetores de câmaras de ar, lençóis, passadeiras, mangotes, câmara de ar, câmaras de recauchutagem, etc, ou seja, ela deve ser utilizada em produtos com exigências menores de qualidade.

Atualmente, o uso de borracha regenerada não é bem aceito, visto que suas características são muito baixas, inferiores a qualquer composição com elastômero virgem e ainda o regenerado proveniente do processo térmico tem um odor não muito agradável. Além disso, o processo é poluente, atingindo não só a atmosfera como também os efluentes líquidos. Por conta disso, todos os cuidados ambientais, como filtros e tratamento de efluentes, devem estar acoplados ao processo de regeneração de borracha.

### **RECUPERAÇÃO ENERGÉTICA**

A recuperação energética é a quarta alternativa para o reaproveitamento de pneus inservíveis.

O desenvolvimento desta alternativa é importante, pois pode consumir grandes quantidades de pneus e por si só, resolver quase que a totalidade do problema da disposição de pneus inservíveis.

Neste caso, o pneu é considerado um combustível. Ele possui um excelente poder calorífico que permite se aproximar do carvão. É certo que, 14 toneladas de pneus usados correspondem a 14 toneladas de carvão ou 10 toneladas de óleo combustível (Holcin, 1998).

### Incineração Energética

A incineração é o processo mais antigo e o mais empregado de tratamento térmico de resíduos, sendo feita normalmente a 800°C. Os gases de combustão devem-se manter a 1200°C por cerca de 2 segundos, com excesso de ar e turbulência elevada a fim de garantir a conversão total, dos componentes orgânicos presente nos resíduos, a gás carbônico e água. Os teores de oxigênio nos gases de combustão devem ficar acima de 7% em volume (IPT/CEMPRE, 2000). Os pneus inservíveis, que são classificados como resíduos sólidos Classe III - inertes, conforme a resolução CONAMA N.º 235/98, estão tendo destinação final em incineradores, porém com uma finalidade mais específica, em função de seu alto poder calorífico, portanto sendo utilizados para incineração energética. Atualmente, as indústrias que praticam a incineração de pneus já possuem os fornos adequados e utilizam este material como combustível.

Nas indústrias siderúrgicas, o pneu inservível substitui o coque, e participa da redução do minério de ferro. Já em misturas com lixo doméstico, em usinas de incineração de lixo, pode-se permitir uma quantidade de pneus inservíveis, de uma maneira bem controlada, ou seja, quando o poder calorífico do lixo urbano for baixo, os pneus podem ser utilizados como combustível. Nas centrais térmicas a carvão para a produção de eletricidade, os pneus inservíveis podem ser utilizados como combustível, substituindo em parte o carvão, em percentuais que variam de 10% a 20%. Estas centrais já funcionam no Japão com consumo de 148.000 toneladas de pneus / (ano), nos Estados Unidos e na Alemanha com consumo, em cada país, de 20.000 toneladas de pneus inservíveis / ano (Almon et al., 2001). Porém o consumo de pneus inservíveis nesta alternativa pode estar comprometido em função da tendência atual de substituição do carvão por combustíveis mais limpos, como o gás natural.

### *Indústrias Cimenteiras:*

São as grandes consumidoras de energia. Além de utilizarem a energia da queima do pneu, o resíduo também é aproveitado como carga no cimento, pois os materiais (aço + carbono = coque) são compatíveis com o cimento ali produzido.

Este método, também conhecido como co-processamento, se baseia no fato de que, além de aproveitar o poder calorífico do pneu como combustível, aproveita as cinzas como material constituinte na formulação do cimento. Assim, na teoria, todo o pneu é transformado em utilidade e não há nenhum resíduo final.

Um ponto fraco deste método reside no fato de que o pneu incinerado necessita de um pré-acondicionamento, pois o mesmo deve estar no mínimo cortado em pedaços, e isto faz aumentar o custo. Para tal, necessita-se de um investimento inicial nos equipamentos, além dos custos de manutenção. Esta desvantagem se refere principalmente ao pneu de carga, devido às dimensões e ao volume deste tipo de pneu.

Atualmente já existem indústrias de cimento que foram projetadas exclusivamente para consumo de pneus inservíveis como combustível, e sendo assim, o projeto já previu uma possibilidade de consumo de pneus em pedaços maiores, com poucos cortes e nenhuma trituração.

Co-processamento é uma técnica que se utiliza das excelentes condições do processo de fabricação do clínquer do cimento para a destruição de diversos tipos de resíduos industriais, de forma segura e definitiva. Dentre estes resíduos industriais, está o pneu inservível. O co-processamento de pneus em fornos de cimento é uma resposta atual segura para a disposição final deste material. As concentrações de metais pesados situam-se em uma faixa onde são facilmente incorporadas ao clínquer do cimento e os outros elementos como ferro, que podem incorporar-se ao clínquer do cimento como substitutivo de matéria-prima.

No co-processamento existem condições favoráveis para esta destinação final: alta temperatura, elevado tempo de residência (que evita a liberação de emissões prejudiciais ao meio ambiente), o alto efeito absorvedor da matéria-prima no pré-aquecedor e a incorporação das cinzas geradas ao clínquer do cimento.

Além dessas condições favoráveis, o poder calorífico do pneu, cerca de 7000 kcal/kg, contribui para a diminuição do consumo de combustíveis não renováveis, como carvão e óleo, poupando desta forma os recursos naturais.

Já existem 78 fábricas de cimento na Europa, Estados Unidos e Japão estão co-processando pneus nos fornos de clínquer (Rosenhoj, 1993). No Brasil, o potencial de co-processamento de pneus em indústrias cimenteiras é de 1,4 milhões de toneladas por ano. Porém, em 2001, o co-processamento de pneus ficou em apenas 160 mil toneladas, ou seja, apenas 11,4 % do potencial (Holcin, 1998). Os Grupos Holcin e Cimpor estão preparados para o co-processamento de pneus e já o fazem atualmente, num total de 4 fábricas, 2 de cada Grupo, espalhadas em 4 estados diferentes: São Paulo, Rio de Janeiro, Minas Gerais e Paraíba. Algumas fábricas da Votorantim e Lafarge começam a trabalhar neste sentido.

O acompanhamento e o monitoramento do co-processamento de pneus em diversas fábricas de cimento, no Brasil e no mundo, demonstram que os valores de emissão atmosférica, metais pesados e materiais particulados, permanecem dentro dos limites das respectivas normalizações, não havendo influência na quantidade total de material particulado emitido, na quantidade total emitida de metais pesados, na emissão de SO<sub>2</sub>. Existe pouca influência da emissão de CO, desde que o co-processamento de pneus seja devidamente controlado (controle de O<sub>2</sub>, taxa e ponto ótimo de alimentação de pneus) (Holcin, 1998).

A substituição de 18% do carvão por pneus mantém todos os parâmetros previstos na NBR-11175/1990, que trata de incinerações de resíduos sólidos perigosos, dentro dos limites de tolerância.

Para o co-processamento de pneus deve-se estabelecer algumas condições operacionais:

- a temperatura dos gases na câmara de fumaça deve ser maior de 900°C;
- a temperatura dos gases na descarga do forno deve ser superior a 1000°C;
- o percentual de oxigênio no segundo estágio deve ser maior que 2%;
- o filtro eletrostático deve estar operando normalmente.

Deve haver um automatismo que, ao detectar qualquer problema nas condições operacionais do forno, interrompa imediatamente a alimentação de pneus.

Neste tipo de processo, um controle deverá ser realizado com o acompanhamento de diversos parâmetros: concentração de O<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub> e temperatura na câmara de fumaça; concentração de O<sub>2</sub> e CO no segundo estágio, com instrumentação isolada de medição contínua num painel de controle central.

Além destas medições, são imperativas a execução de monitoramentos atmosféricos sistemáticos e análises químicas do clínquer produzido com o co-processamento.

#### Pirólise

É um método de tratamento térmico à alta temperatura, pirolítico com oxidação controlada, sob uma atmosfera pobre em oxigênio, dentro de uma câmara de combustão. As temperaturas ficam compreendidas entre 400°C e 500°C. Quanto mais alta a temperatura, mais se obtém produtos gasosos e menos os produtos líquidos (Masdoumier, 1994).

Este processo é muito utilizado para tratamento de resíduos perigosos, e objetiva, ao mesmo tempo, a redução do volume e a eliminação das características indesejáveis dos mesmos, de forma a minimizar os riscos para o meio ambiente e para a saúde pública.

No caso, onde se utiliza a pirólise de pneus, a decomposição aquecida do pneu, em atmosfera pobre em oxigênio, acontece no interior da câmara de combustão. Os produtos obtidos são diversos combustíveis, podendo ir do gás ao carbono, assim como o aço, para a indústria siderúrgica. Alguns exemplos de produtos obtidos da pirólise de pneus:

- óleos parafinicos e aromáticos, que podem ser utilizados, após o refino, para a produção de vapor;
- negro de carbono para incorporação como agente reforçante em materiais de borracha;
- carvão ativo para filtros utilizados em tratamento de águas;
- gás utilizado para pré-aquecimento de ar insuflado dentro de fornos;
- coque.

A pirólise, quando utilizada em pneus inservíveis, têm algumas vantagens em relação a outros resíduos, como a auto-suficiência do processo em que se concerne à energia, pois parte dos gases e dos produtos líquidos podem substituir o óleo combustível; comparado aos incineradores tradicionais, o investimento é 7 vezes inferior, pois as temperaturas são mais baixas, opera sem consumo de ar e não gera grandes quantidades de gases, evitando assim um sistema de purificação mais sofisticado; os produtos sólidos e líquidos obtidos são facilmente transportáveis e estocáveis, podendo ser utilizados posteriormente; todos os tipos de pneus podem ser utilizados e não há necessidade de trituração dos pneus menores.

Atualmente, no Brasil, esta alternativa para destruição de pneus inservíveis está sendo muito utilizada pela Petrobrás, em São Mateus do Sul, no estado do Paraná, com o Processo Petrosix.

O processo Petrosix, que é patenteado pela Petrobrás, foi inicialmente desenvolvido para retortagem exclusiva do xisto.

A SIX (Unidade de Negócios da Industrialização do Xisto da Petrobrás) produz óleo, GLP, gás combustível e enxofre a partir do processamento do xisto há mais de 20 anos e passou a misturar pneus picados à rocha de xisto a partir de maio de 2001 em suas plantas industriais, obtendo um acréscimo no volume destes produtos. Esta mudança ocorreu em função de várias razões e trouxe uma alternativa para a recuperação energética adequada dos pneus inservíveis.

No Processo Petrosix, são adicionados à carga de xisto processada 5% em peso de pneus inservíveis picados, o que permite reaproveitamento de 140 mil toneladas de pneus anualmente. Isto equivale a 17,5 milhões de pneus de passeio ou a 2,33 milhões de pneus de carga (Ambiente Brasil, 2002).

Uma tonelada de pneus rende cerca de 530 kg de óleo, 40 kg de gás, 300 kg de negro de carbono e 100 kg de aço. Os produtos gerados pelo processamento do xisto adicionado de pneus picados são óleo, gás combustível e enxofre. Os resíduos - xisto e pneu retornado - podem ser aproveitados como combustíveis para termelétrica ou insumos para indústrias cerâmicas e o arame pode ser reciclado em indústrias siderúrgicas (Ambiente Brasil, 2002).

## CONCLUSÕES

A primeira conclusão deste trabalho é que a Resolução CONAMA 258/99 foi fundamental para que a questão dos pneus inservíveis, no Brasil, tomasse um outro rumo, a qual se mostra, de certa forma, tranquilizadora em relação aos problemas causados por estes pneus ao meio ambiente, em função do engajamento dos fabricantes de pneus, em conjunto com a ANIP (Associação Nacional das Indústrias de Pneumáticos).

Todavia é interessante que haja uma parceria entre o Estado, através dos órgãos ambientais, e os fabricantes de pneus, através da ANIP, a fim de se elaborar uma campanha publicitária para conscientizar a população sobre as várias possibilidades de reaproveitamento dos pneus inservíveis, mostrando os malefícios que este produto pode causar ao meio ambiente e à saúde. Esta campanha deveria mostrar também a responsabilidade de todos, em relação a este assunto; do fabricante, o primeiro responsável por seu produto, do berço ao túmulo, e da população em geral, sensibilizando-a quanto às boas práticas com relação aos pneus inservíveis, como, por exemplo, não guardar pneus descobertos, deixar os pneus trocados nos próprios revendedores, entregar pneus inservíveis em pontos de coleta, não queimar pneus e por fim não jogar os pneus em rios, lagos e terrenos baldios.

Outra conclusão é que o pneu inservível, apesar de ser considerado inerte, trata-se de um resíduo sólido inflamável e muito complexo, tanto em relação à sua composição química quanto do ponto de vista logístico, pois os mesmos são encontrados espalhados em todo território nacional, o que dificulta muito uma implantação de uma infra-estrutura eficaz de coleta e de transporte destes pneus. Isto se deve, principalmente devido à grande extensão do território brasileiro, aliado a existência restrita de pontos de reaproveitamento, geralmente concentrados nos grandes pólos industriais do sudeste e do sul do Brasil.

O trabalho é o ponto de partida para uma discussão mais ampla em relação às alternativas atuais de reaproveitamento de pneus inservíveis. Todas elas, sem exceção, são extremamente importantes e pertinentes. Devem ser realizadas de maneira coordenada, de forma a permitir a competitividade entre elas, tornando-as econômicas e viáveis. Certamente, esta competição trará benefícios em relação aos custos e à rapidez do reaproveitamento de pneus.

Dos 4 R's, é fato que, a *Redução* dos resíduos é a maneira mais adequada de gerenciamento sustentável. Quando se vê a preocupação dos fabricantes em aumentar a vida útil de um pneu, em substituir os pneus geminados e mesmo possibilitar mais reformas destes pneus, conclui-se que, pelo menos neste segmento, a estratégia de ação está ambientalmente correta. Talvez, haja ainda a necessidade, por parte do Estado, da implementação de políticas de incentivos fiscais e logísticos, fiscalização ostensiva e campanhas educativas para sedimentar este gerenciamento e perenizá-lo ao longo do tempo.

A *Reutilização* de pneus, como *Pneu-Solo*, *Tapete Pneu*, *Drenagem de Biogás* e *Recifes Artificiais* são alternativas importantes que devem ser destacadas, uma vez que não demandam custos extras, que seriam necessários para uma transformação prévia destes pneus.

A *Reciclagem* de pneus, como a *Borracha Triturada* e a *Regeneração da Borracha*, são também alternativas, que mesmo havendo a necessidade de uma transformação prévia dos pneus inservíveis, têm importância, em especial no Brasil. No caso da Borracha Triturada existem algumas possibilidades, como Fabricação de Solos Esportivos, Melhoria da Impermeabilidade de Solos Argilosos na Percolação de Hidrocarbonetos e Revestimento de Estradas e Calçadas. Esta última alternativa, a borracha triturada misturada ao asfalto, que se encontra em testes no sul do país, vem se mostrando uma possibilidade viável, tanto tecnicamente como estrategicamente, visto que, no Brasil, existe um déficit de rodovias asfaltadas.

Na questão do reaproveitamento de pneus inservíveis, os fabricantes devem incentivar a pesquisa em universidades, para que possam desenvolver novas alternativas que tornem este processo ainda mais viável economicamente. Desta forma, busca-se agregar valor econômico aos pneus inservíveis, reduzir os custos dos processos de reaproveitamento e ir além da tão somente responsabilidade ambiental, atualmente praticada por estes fabricantes de pneus.

Entretanto, fica bastante evidente que as alternativas de *Recuperação Energética* são, sem nenhuma dúvida, as mais pertinentes no momento, para o nosso país. Atualmente, o co-processamento de pneus em fornos de cimenteiras e a pirólise destes, em mistura com o xisto, já se encontram em andamento em diversas unidades de produção no país. Tais processos possuem ainda dois aspectos importantíssimos sobre as demais alternativas, sendo estas: a baixíssima necessidade prévia da preparação dos pneus aos referidos processos e a grande capacidade de queima existente, para o reaproveitamento destes pneus inservíveis, nos mesmos.

A conclusão final é que somente as técnicas de recuperação energética poderiam atualmente cumprir, com uma certa tranquilidade, a Resolução CONAMA 258/99. Contudo, como esta possibilidade não é viável no momento, uma vez que nem todas as cimenteiras já co-processam pneus inservíveis, todas as outras alternativas tornam-se importantíssimas no contexto atual. Finalmente, é fundamental que se encontre uma sistemática factível para a questão da coleta e do transporte destes pneus, do local onde quer que eles estejam até os locais de reaproveitamento dos mesmos.

## AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Michelin Pneumáticos.

Agradecemos a colaboração do Depto de Engenharia Sanitária da UERJ.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALMON, J.J. et al – "Pneus Usagés Non Reutilisables" – Michelin. France, 2001.
2. AMBIENTE BRASIL – Disponível em: <<http://www.ambientebrasil.com.br>> Acesso em: 06 Ago. 2002.
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM225 - Critérios mínimos de seleção de pneus para reforma e reparação. Inspeção e identificação. Rio de Janeiro, 2000.
4. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11175 – Incineração de resíduos sólidos perigosos - Padrões de desempenho. Rio de Janeiro, 1990.
5. BAYKAL, G.; ALPATLI, H.M. Permeability of rubber-soil liners under confinement. Bogazici University. Istanbul, 2000.
6. COLLINS, K.; "Littoral Sense" – Tire Technology International – University of Southampton – United Kingdom, 2002.
7. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução 235. Brasília, 1998.
8. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução 258. Brasília, 1999.
9. CORSEUIL, H.X.; SANTOS, R.P.; FERNANDES, M. Contaminação de aquíferos por derramamentos de gasolina e álcool. Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental. Porto Alegre, 1996.
10. CUNHA LIMA, L.C.O.; HEMAIS, C.A. Borracha Regenerada, uma nova abordagem do assunto. Revista de Química Industrial n.º 710/711, 1997.
11. ELZEDIN, A.S.; VACCARI, D.A.; MUELLER, R.T. "Fly ash concrete containing petroleum contaminated soils". Proceedings, 4<sup>th</sup> Int. Conf. on Fly ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete. Istanbul, 1992.
12. DNER. Banco de Dados. Disponível em: <<http://www.dner.gov.br>> Brasília, Acesso em: 20 Jul. 2002.
13. GERSCOVICH, D. et al.- Reuso de pneus em geotecnia. Seminário Nacional sobre Reuso /Reciclagem de Resíduos Sólidos Industriais – FIESP. São Paulo, 2000.
14. HAUSMANN, M.R. "Slope Remediation". Stability and Performance of Slope and Embankments-II, Geotechnical Special Publication n°31, ASCE, 1990.
15. HOLCIN BRASIL S/A. Plano de Controle Ambiental de Co-Processamento de Pneus. Pedro Leopoldo, 1998.
16. IPT/CEMPRE. Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado. 2ª Ed. São Paulo, 2000.
17. LEITE, L.F.M. et al. Mechanical behavior of asphalt rubber mixes prepared in laboratory. In: Asphalt Rubber 2000, Portugal, 2000.
18. MASDOUMIER, C. Récupération des pneus usagés . Memoire de Maitrise L.E.A, Université Blaise Pascal. Clermont-Ferrand, 1994.
19. MICHELIN PNEUMÁTICOS LTDA. Palestra sobre situação de reciclagem de pneus no Brasil e no mundo. Rio de Janeiro, 2000.
20. MICHELIN RECAPAGE. Módulo de formação para reformas de pneus. Rio de Janeiro, 2001.
21. MORILHA JR, A.; DANTAS, G.A.; BARROS, R.M.V. Aplicações práticas de ligante asfáltico modificado por

- borrachas de pneus de alta viscosidade. 11ª Reunião de Pavimentação Urbana. Porto Alegre, 2002.
22. ROSENHOJ, J.A. The cement kiln. The optimal solution for waste tyre burning. Belgium, 1993.