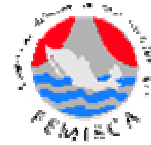




XXVIII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental  
Cancún, México, 27 al 31 de octubre, 2002



## BENEFÍCIOS DA INCORPORAÇÃO DE BORRACHA DE PNEUS EM PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

### **Sandra Margarido Bertollo**

Departamento de Transportes - Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo (USP)

### **José Leomar Fernandes Júnior\***

Departamento de Transportes - Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo (USP)

Engenheiro Civil. Professor Dr. de disciplinas do curso de graduação e no programa de pós-graduação em Transportes da EESC-USP. Consultor “ad-hoc” junto à FAPESP e CNPq. Professor visitante da Universidade do Texas em Austin (1992-1993), da Universidade de Waterloo - Canadá (1995) e da Universidade da Flórida em Gainesville (1999-2000). Tem mais de oitenta trabalhos técnicos publicados em livros, revistas e anais de congressos científicos e tecnológicos.

### **Valdir Schaleh**

Departamento de Hidráulica e Saneamento - Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo (USP)



\*Av. Trabalhador São-carlense, 400 – Centro – CEP 13566-590 – São Carlos, SP – Brasil – Tel.: +55(16)273-9598 – Fax: +55(16)273-9602 – e-mail: leomar@sc.usp.br

### **RESUMO**

Menos de 10% da malha rodoviária brasileira é revestida por pavimentos asfálticos. A pavimentação de apenas 0,5% (cerca de 7.800 km) do total de quilômetros de rodovias não-pavimentadas poderia consumir mais de 11 milhões de pneus inservíveis. Com um descarte anual estimado em 44 milhões de pneus, a incorporação de borracha de pneus ao pavimento asfáltico pode contribuir significativamente para o equacionamento da questão da disposição final desses resíduos no país. Este trabalho apresenta os resultados parciais de um estudo laboratorial que teve por objetivo avaliar o efeito produzido pelo teor e granulometria da borracha reciclada de pneumáticos sobre as propriedades de uma mistura asfáltica densa. Foram preparadas misturas asfálticas com duas granulometrias de borracha, substituindo parte dos agregados pétreos em algumas frações da curva granulométrica (“processo seco”). Essas misturas foram comparadas a uma mistura de controle, sem borracha. Para avaliação das propriedades mecânicas, as misturas foram submetidas ao ensaio de compressão diametral dinâmico para determinação do módulo de resiliência, ao ensaio de resistência à tração por compressão diametral e ao ensaio de trilha de roda em equipamento simulador de tráfego em laboratório. Os resultados mostram que a adição de partículas mais finas propicia a melhora no desempenho em termos de resistência à deformação permanente. O módulo de resiliência cai significativamente com adição de uma pequena quantidade de borracha, mas não proporcionalmente à redução da resistência à tração, sugerindo, em princípio, uma maior flexibilidade e resistência à fadiga. A adição de borracha de pneus em obras de pavimentação asfáltica pode contribuir para a minimização dos problemas relacionados à disposição final dos pneus inservíveis e, ao mesmo tempo, melhorar algumas propriedades de engenharia das misturas asfálticas.

**Palavras-chave:** pneu, reciclagem, misturas asfálticas

### **INTRODUÇÃO**

A geração de pneus usados representa um problema mundial, estando diretamente relacionada à frota de veículos de cada país. Em 2000, o Brasil contava com uma frota de 35.727.635 veículos automotores nacionais e importados em circulação, 10,6% mais do que em 1998 (GEIPOT, 2002). Embora o crescimento da frota seja significativo, a magnitude do efeito ambiental causado pelos milhões de pneus inservíveis gerados todos os anos não se percebe tão facilmente.

A disposição final dos pneus representa um problema de difícil solução, pois são objetos que ocupam grande volume e que precisam ser armazenados em condições apropriadas para evitar riscos de incêndio e proliferação de insetos e roedores. A disposição final em aterros sanitários se torna inviável, pois os pneus inteiros apresentam baixa compressibilidade e degradação muito lenta.

Devido à falta de uma ação governamental para controle da destinação adequada desses resíduos, os pneus geralmente são armazenados em fundos de quintais, borracharias, ferros-velhos, recauchutadoras ou são lançados em terrenos baldios, cursos de água e beiras de estradas. As pilhas de pneus representam risco constante de incêndios, que são de difícil controle, produzem grande quantidade de fumaça tóxica (dióxido de enxofre) e deixam como resíduos óleos que podem contaminar as águas subterrâneas (Epps, 1994). Devido ao formato físico e à impermeabilidade da borracha, os pneus podem armazenar água de chuva, propiciando um ambiente ideal para a procriação de mosquitos, roedores e outros vetores de doenças como o mosquito *Aedes aegypti*, transmissor da dengue e da febre amarela urbana.

A ausência de dados sobre o destino de pneus inservíveis no Brasil não permite determinar com certeza o passivo ambiental. Uma estimativa baseada na frota de veículos indica que são geradas mais de 44 milhões de carcaças de pneus anualmente e que existem mais de 100 milhões de pneus abandonados em todo o país. Na Rússia, país com 147 milhões de habitantes, cerca de 1,1 milhões de toneladas de pneus são descartados a cada ano (Nikoulichev, 1999). Na Austrália, país com 18,9 milhões de habitantes, aproximadamente 70.000 toneladas de pneus inservíveis são geradas anualmente (Environment Australia, 2001). Nos países da Comunidade Européia, mais de 2,5 milhões de toneladas de pneus chegam ao fim de sua vida a cada ano, o que representa uma geração anual de aproximadamente 235 milhões de pneus (UTWG, 2001). Nenhum país produz mais pneus inservíveis que os Estados Unidos. Estima-se que sejam dispostos 273 milhões de pneus por ano, algo em torno de 3,6 milhões de toneladas, o que representa mais de um pneu por habitante por ano (RMA, 2000).

No Brasil, a Resolução nº 258 do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA determina que, a partir de 1º de janeiro de 2002, 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 relativa às quantidades fabricadas e/ou importadas. Inicialmente, para cada quatro pneus novos fabricados no Brasil ou importados, os fabricantes e importadoras deverão reciclar/reutilizar um pneu inservível. A exigência em relação às quantidades de pneus que deverão ser reciclados/reutilizados aumenta a cada ano, até janeiro de 2005, quando, para cada quatro pneus novos fabricados no país ou importados, as empresas fabricantes e as importadoras deverão dar destinação final a cinco pneus inservíveis; para cada três pneus reformados importados, de qualquer tipo, as empresas importadoras deverão dar destinação final a quatro pneus inservíveis.

Nos Estados Unidos, existem leis que regulamentam a aquisição, armazenagem e processamento de pneus, impõem restrições para armazenagem em aterros sanitários e oferecem incentivos para o desenvolvimento de novas alternativas de uso, como por exemplo, a incorporação em misturas asfálticas (FHWA, 1993; EPA, 1999).

Existem dois métodos de incorporação dos pneus nas misturas asfálticas. No processo úmido são adicionadas partículas finas de borracha ao cimento asfáltico, produzindo um novo tipo de ligante denominado *asfalto-borracha*. No processo seco, objeto desse estudo, partículas de borracha substituem parte dos agregados pétreos na mistura. Após a adição do ligante, formam um produto denominado *concreto asfáltico modificado com adição de borracha*.

Enquanto é indiscutível o benefício da reciclagem para esse tipo de resíduo, não existe consenso se a utilização de borracha triturada traz benefícios significativos às propriedades de engenharia, com a obtenção de um pavimento com melhor desempenho em longo prazo, superando os pavimentos tradicionais.

Nesse contexto, o presente trabalho descreve um estudo a respeito da adição de borracha de pneu triturada substituindo parte dos agregados pétreos em uma mistura asfáltica convencional. Procurou-se analisar a influência da quantidade e do tamanho das partículas de borracha nas propriedades mecânicas das misturas asfálticas. Busca-se, dessa forma, contribuir para o equacionamento do grave problema ambiental que é a disposição de resíduos sólidos, pois a reutilização de pneus em larga escala no Brasil vai depender do conhecimento profundo dos aspectos econômicos e técnicos, relacionados ao meio ambiente e ao desempenho como material de construção.

## REDUÇÃO, REUTILIZAÇÃO E RECICLAGEM DE PNEUS USADOS

A disposição final de pneus inservíveis representa um problema de difícil solução, o que evidencia a necessidade da elaboração de medidas para minimizar a geração dos mesmos. O aumento da duração da vida útil de um pneu e o aprimoramento das técnicas de recauchutagem, que prolonga a vida da carcaça, são duas alternativas que permitem reduzir o número de pneus novos a serem substituídos a cada ano e, conseqüentemente, o descarte de pneus usados que deverão ser dispostos corretamente. Nos casos em que a carcaça apresenta condições insatisfatórias de uso, o recurso da recauchutagem não pode ser aplicado, gerando boa parte dos pneus inservíveis. A Figura 1 ilustra as diversas formas de disposição final, reutilização e reciclagem dos pneus inservíveis gerados a cada ano.

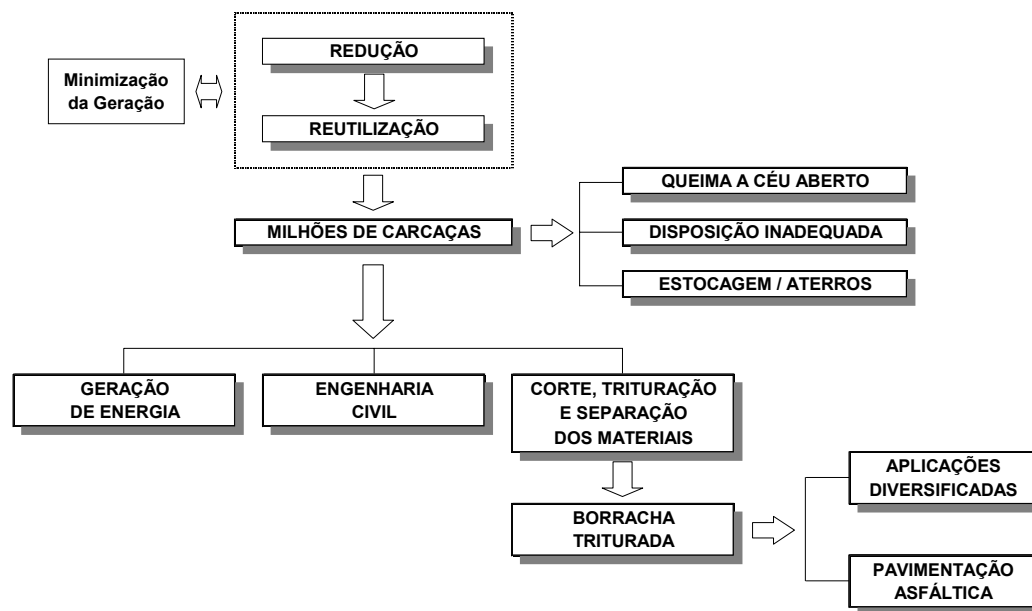


Figura 1: Destino final dos pneus inservíveis.

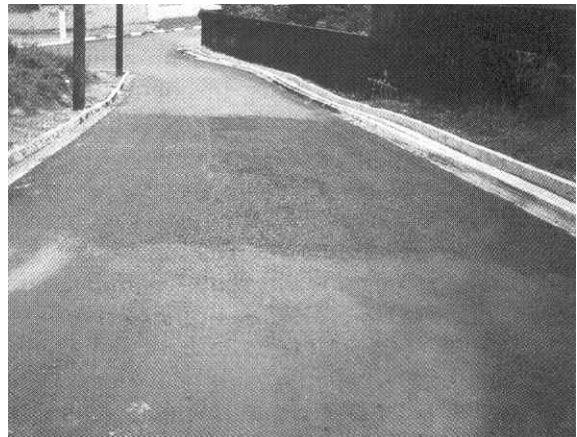
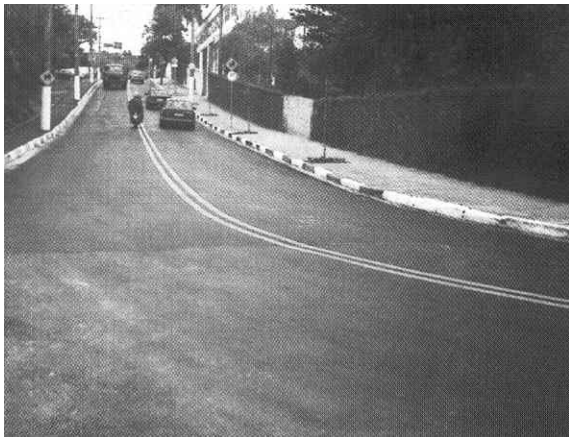
Têm sido realizadas pesquisas, particularmente no exterior, buscando o desenvolvimento de novas tecnologias para reutilizar pneus velhos, seja na sua forma inteira, como borracha reciclada ou como combustível na geração de energia. Os pneus inservíveis, na sua forma inteira, podem ser aplicados em obras de contenções (Silva *et al.*, 2000), nas margens de rios para evitar desmoronamentos, como recifes artificiais (Oliveira *et al.*, 2000), na construção de quebra-mares, na construção de equipamentos para parques infantis, como barreira em acostamento de estradas, no controle de erosão etc. São propostas de baixo custo que utilizam um número razoável de pneus e envolvem ações relativamente simples de corte e amarração. Entretanto, a maioria dessas alternativas resulta em soluções finitas e saturáveis em curto prazo, mas que podem contribuir de maneira significativa na diminuição do passivo ambiental.

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

A reciclagem de pneus envolve um ciclo que compreende a coleta, transporte, trituração e separação de seus componentes (borracha, aço e lona), transformando sucatas em matérias-primas que serão direcionadas ao mercado. Obtém-se borracha pulverizada ou granulada que vai ter diversas aplicações: utilização em misturas asfálticas, em revestimentos de quadras e pistas de esportes, fabricação de tapetes automotivos, adesivos etc. Quanto menor a granulometria maior o custo envolvido e esse custo pode inviabilizar o desenvolvimento de alguns mercados potenciais. Neste ponto, é fundamental a parceria entre universidades e empresas, buscando-se analisar as oportunidades de mercado e o desenvolvimento de tecnologias adaptadas à realidade brasileira e que possibilitem a utilização da borracha reciclada em larga escala.

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

A utilização de pneus triturados em obras de pavimentação no Brasil já é realidade na cidade de Santos, São Paulo, onde raspas de pneus provenientes do processo de recauchutagem são incorporadas (processo seco) nas misturas asfálticas utilizadas nas atividades de reabilitação e construção de pavimentos (Figura 2). Segundo informações da Prefeitura de Santos-SP, alguns trechos experimentais têm apresentado excelente desempenho enquanto outros apresentam problemas de desagregação, o que evidencia a necessidade de pesquisas sobre a utilização de borracha reciclada de pneus em obras de pavimentação asfáltica no Brasil.

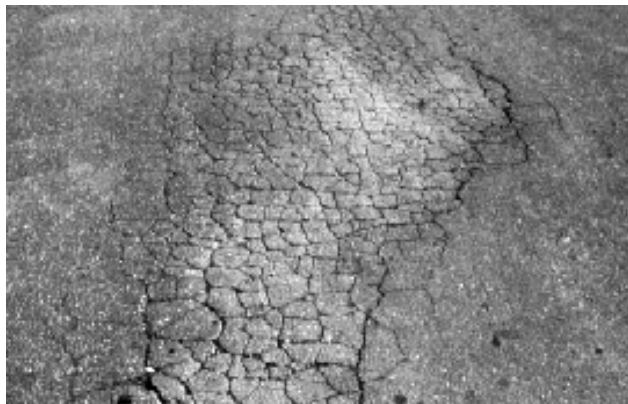


**Figura 2: Trechos de pavimentos modificados com adição de borracha de pneus na cidade de Santos-SP (Bertollo et al., 2000).**

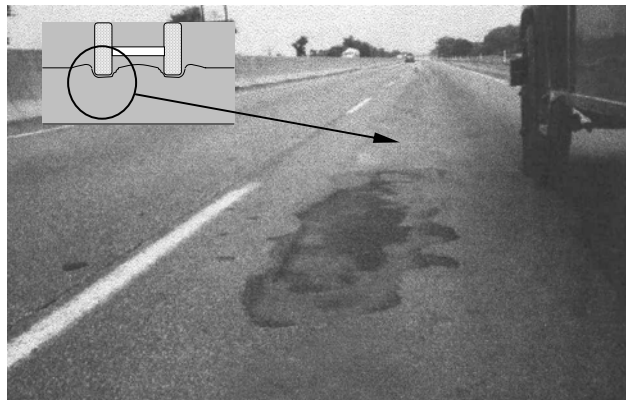
## **PRINCIPAIS DEFEITOS DE MISTURAS ASFÁLTICAS DENSAS**

A Figura 3 ilustra os dois principais mecanismos de deterioração dos pavimentos: a deformação permanente, causada pela ação combinada de densificação e deformação por cisalhamento, e o trincamento por fadiga, decorrente das repetições de deformação horizontal de tração na parte inferior do revestimento.

Nos últimos anos, a ocorrência prematura e/ou excessiva de deformação permanente nos pavimentos asfálticos tem sido motivo de grande preocupação entre técnicos e pesquisadores brasileiros da área de pavimentação. As deformações, que aparecem sob a forma de depressões longitudinais nas trilhas de roda, são o resultado da acumulação de pequenos afundamentos que ocorrem toda vez que um carregamento é aplicado (Figura 3b). Esse fenômeno tem se agravado devido, principalmente, ao aumento do número de veículos pesados e ao avanço tecnológico que possibilita a esses veículos rodarem com maior carga por eixo e maior pressão nos pneus (Fernandes Jr., 1994).



(a) Trincas por fadiga



(b) Deformação permanente em trilha de roda

**Figura 3: Principais defeitos dos pavimentos asfálticos.**

O afundamento da trilha de roda pode ser o resultado da escolha de espessuras indevidas das várias camadas que compõem o pavimento, resultando em carregamentos incompatíveis com a capacidade de suporte do subleito. Também pode ser causado por deformações nas camadas betuminosas, causadas por misturas que possuem pequena resistência ao cisalhamento. Nessas misturas, o afundamento pode ser associado à suscetibilidade térmica dos ligantes ou ao esqueleto mineral resultante de agregados com baixos ângulos de atrito interno.

O fenômeno de fadiga em revestimentos asfálticos ocorre devido às solicitações repetidas do tráfego e se torna evidente na forma de trincamentos (Figura 3a). Trincas por fadiga são causadas por vários fatores que ocorrem simultaneamente. Geralmente a ocorrência está associada à repetição de carregamentos pesados ou quando o número de aplicações de carga ultrapassa o valor previsto em projeto. Ao contrário da trilha de roda, que pode ser evitável, a fadiga não pode ser evitada indefinidamente, devido à repetição das deformações elásticas resultantes do tráfego.

Quando se adiciona borracha em uma mistura asfáltica pelo processo seco, as partículas mais finas da borracha reagem com o ligante enquanto que as partículas maiores atuam como “agregados elásticos” no concreto asfáltico. A combinação de ligante modificado e aumento da elasticidade das misturas asfálticas tende a produzir pavimentos mais resistentes à fadiga e ao trincamento a baixas temperaturas. Existem evidências, também, de que a adição de borracha triturada, dentro de certos limites, aumenta a resistência à deformação permanente em relação às misturas convencionais (FHWA, 1993; Gallego *et al.*, 2000).

## METODOLOGIA

Inicialmente foram realizados os ensaios de solubilização e lixiviação, com o objetivo de enquadrar as amostras (somente borracha, mistura asfáltica convencional e misturas asfálticas utilizando borracha como agregado) em cada uma das classes de resíduos (ABNT, 1987a). Buscou-se verificar se a disposição de borracha triturada (diminuição de volume) em aterros poderia causar algum dano ao meio ambiente e se a incorporação dessa borracha nas misturas asfálticas poderia resultar em um produto menos agressivo. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Saneamento do Departamento de Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos, USP, conforme procedimentos descritos na NBR 10005 (Lixiviação de Resíduos - ABNT, 1987b) e NBR 10006 (Solubilização de Resíduos - ABNT, 1987c).

Para caracterizar as misturas asfálticas foram preparadas amostras com duas granulometrias de borracha, uma grossa (G) e outra fina (F), substituindo parte dos agregados pétreos em algumas frações da curva granulométrica. Foram utilizadas quantidades de borracha equivalentes a 1 e 2% do peso total da mistura. Essas misturas foram comparadas a uma mistura convencional, sem borracha (mistura de controle).

A borracha triturada foi fornecida pela BORCOL Indústria de Borracha Ltda, localizada no município de Sorocaba - SP. Foram utilizadas duas granulometrias: uma denominada “G” (grossa), contendo partículas com diâmetros variando de 9,5 mm (3/8”) até 0,60 mm (#30) e outra, denominada “F” (fina), contendo partículas com diâmetros variando de 1,18 mm (#16) até 0,15 mm (#100). Foram utilizados agregados britados, de natureza basáltica, provenientes da Pedreira INDERP localizada no município de Ribeirão Preto - SP. O ligante asfáltico utilizado na moldagem dos corpos-de-prova foi o CAP-20.

A dosagem das misturas asfálticas foi feita pelo método Marshall de acordo com os padrões estabelecidos pela NBR 12891/93 da ABNT (1993). Trabalhou-se com uma granulometria correspondente ao centro da faixa “C” do DNER. Para seleção do teor ótimo de asfalto considerou-se um volume de vazios de 4% para a mistura de controle. As misturas contendo borracha foram moldadas utilizando a mesma quantidade de ligante da mistura de controle.

Procurou-se analisar o efeito do teor e da granulometria da borracha sobre o módulo de resiliência (MR) e a resistência à tração (RT). Para a avaliação da capacidade das misturas em resistir às deformações permanentes foi utilizado um equipamento simulador de tráfego em laboratório, idealizado pelo *Laboratoire Central des Ponts et Chaussées* – LCPC. Os procedimentos do ensaio são descritos nas normas francesas NF P 98-253-1 (AFNOR, 1991a) e NF P 98-250-2 (AFNOR, 1991b). Os ensaios foram realizados no Laboratório de Tecnologia de Pavimentação, do Departamento de Engenharia de Transportes da Escola Politécnica da USP, em São Paulo. Em alguns países, principalmente Estados Unidos e França, os equipamentos simuladores de tráfego em laboratório estão sendo utilizados na dosagem das misturas asfálticas. A limitação da deformação permanente nas trilhas de roda tem sido utilizada como critério de aceitação das misturas asfálticas.

Para a realização deste ensaio foram moldadas placas de 180 mm de largura por 500 mm de comprimento e 50 mm de altura. No equipamento simulador de tráfego são colocadas duas placas de cada vez. O ensaio se realiza mediante a aplicação de uma carga através de uma roda dotada de pneus lisos. A pressão dos pneus e a carga dos eixos são controladas. A passagem das rodas sobre as placas se faz através de ciclos de ida e volta do pneu (cada ciclo tem a duração de 1 segundo). As medidas das deformações foram feitas em 15 pontos distintos da trilha de roda, sendo realizadas no decorrer do ensaio, após 100, 300, 1.000, 3.000, 10.000 e 30.000 ciclos. Os ensaios foram realizados em temperatura controlada de 60°C.

## RESULTADOS

Os resultados dos ensaios de solubilização realizados nas amostras de borracha apresentaram teores de metais (zinco e manganês) no extrato solubilizado superiores aos padrões estabelecidos pela NBR 10004, classificando esse resíduo como sendo Classe II (não inerte). Entretanto, nas amostras com borracha incorporada à mistura asfáltica nenhum constituinte solubilizado apresentou concentração superior ao limite máximo, evidenciando que a incorporação da borracha na mistura asfáltica foi eficiente na sua inertização.

A Figura 4 ilustra a variação da porcentagem de afundamento em trilha de roda com o número de ciclos para a mistura de controle e as misturas preparadas com 1 e 2% de borracha nas granulometrias G e F. A Tabela 1 apresenta o resumo dos resultados (média de 3 corpos-de-prova) obtidos para MR e RT, a relação MR/RT e os resultados do ensaio de trilha de roda (média entre duas placas ensaiadas). O coeficiente angular é obtido através da equação de regressão de cada mistura e representam a taxa de deformação com o número de ciclos. Neste trabalho, considerou-se o limite máximo de afundamento na trilha de roda, após 30.000 ciclos, de 10%.

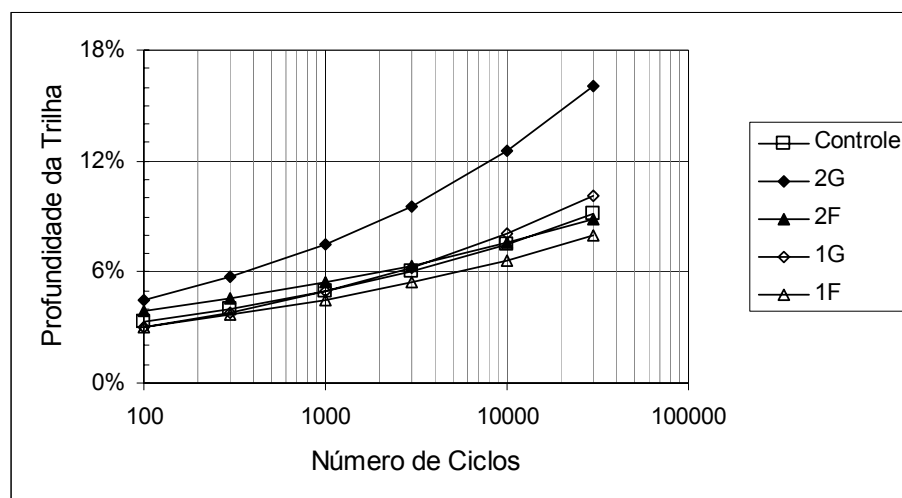


Figura 4: Resultados dos ensaios de trilha de roda.

TABELA 1: Resultados Obtidos nos Ensaios Mecânicos

PARÂMETRO	MISTURAS				
	2G	2F	1G	1F	CONTROLE
MR (MPa, 25°C)	1634	2104	2165	2793	3637
RT (MPa, 25°C)	1,02	0,99	1,14	1,11	1,29
MR/RT	1602	2125	1899	2516	2819
AFUNDAMENTO (30.000 Ciclos)	16%	9%	10%	8%	9%
COEFICIENTE ANGULAR	0,2234	0,1499	0,2129	0,1681	0,1789

Pelos resultados apresentados na Figura 4 e Tabela 1, quanto à resistência ao acúmulo de deformação permanente nas trilhas de roda, as misturas que apresentaram melhores desempenhos foram as com granulometria fina (1F e 2F), seguidas pela mistura de controle. As misturas 1F e 2F apresentaram menores taxas de deformação (curvas menos inclinadas) quando comparadas à mistura de controle, ou seja, essas misturas apresentam menor potencial de desenvolver deformação permanente nas trilhas de roda.

As misturas modificadas com borracha apresentaram menores valores de módulo de resiliência e resistência à tração quando comparadas à mistura de controle. Os resultados dos ensaios mostram que o tamanho e o teor de borracha influem nas propriedades da mistura: quanto maior o teor e o tamanho de borracha, menor o módulo de resiliência; quanto maior o teor de borracha, menor a resistência à tração. O MR cai significativamente com uma pequena adição de borracha, mas não proporcional à redução de RT sugerindo, em princípio, uma maior flexibilidade e resistência à fadiga das misturas modificadas em relação à mistura de controle.

## CONCLUSÕES

Os ensaios de solubilização e lixiviação mostraram que a trituração de pneus, com o objetivo de redução de volume anteriormente à sua disposição em aterros sanitários, não é uma medida totalmente adequada do ponto de vista ambiental e que a incorporação da borracha como parte dos agregados em misturas asfálticas foi eficiente na estabilização dos metais em excesso presentes na borracha, não apresentando riscos potenciais ao meio ambiente.

Os resultados dos ensaios de trilha de roda indicam que a incorporação de borracha na granulometria fina proporciona efeito benéfico, melhorando o desempenho em termos de resistência à deformação permanente quando comparada à

mistura de controle. A incorporação de 1% de borracha na granulometria grossa não comprometeu o desempenho das misturas. As relações entre módulo de resiliência e resistência à tração encontradas para as misturas com borracha sugerem, em princípio, uma maior flexibilidade e resistência à fadiga.

A borracha obtida da trituração de pneus deve ser considerada como um bem valioso, cuja utilização vem se expandindo em mercados diversificados. Sua utilização em pavimentos não pretende transformar as rodovias em “aterros lineares”. Pelo contrário, os ensaios de solubilização e lixiviação mostraram que a incorporação da borracha na mistura asfáltica foi eficiente na sua inertização. Os resultados apresentados indicam que a inclusão de borracha de pneus nas misturas asfálticas não compromete seu desempenho, ao contrário, pode melhorar algumas propriedades mecânicas, o que torna promissor o seu uso como agregado.

*Agradecimentos.* – Esta pesquisa contou com o apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), através da concessão de uma bolsa de doutorado.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT (1987a) *NBR 10004 – Resíduos Sólidos - Classificação*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro. 63p.
- ABNT (1987b) *NBR 10005 – Lixiviação de Resíduos*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro. 10p.
- ABNT (1987c) *NBR 10006 – Solubilização de Resíduos*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro. 2p.
- ABNT (1993) *NBR 12891/93 - Dosagem de Misturas Betuminosas pelo Método Marshall*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- AFNOR (1991a) *Deformation Permanente des Mélanges Hydrocarbonés – Partie 1: Essai d’orniérage. NF P 98-253-1*. Association Française de Normalisation, Paris, França.
- AFNOR (1991b) *Preparation des Mélanges Hydrocarbonés – Partie 2: Compactage des plaques. NF P 98-250-2*. Association Française de Normalisation, Paris, França.
- Bertollo, S. A. M.; Fernandes Jr., J. L.; Villaverde, R. B.; Migotto Filho, D. (2000) Pavimentação asfáltica: uma alternativa para a reutilização de pneus usados. *Revista Limpeza Pública*, n. 54. Associação Brasileira de Limpeza Pública - ABLP, p.23-30, Jan.
- Environment Australia (2001) *A National Approach to Waste Tyres*. Prepared for Environment Australia by Atech Group. Commonwealth Department of Environment. Australia, 180 pp.
- EPA (1999) *State Scrap Tire Programs – A Quick Reference Guide: 1999 Update*. U. S. Environmental Protection Agency. EPA-530-B-99-002.
- Epps, J. A. (1994) *NCHRP Synthesis of Highway Practice 108: Uses of Recycled Rubber Tires in Highways*. TRB, National Research Council, Washington, D.C., 162 pp.
- Fernandes Jr., J. L. (1994) *Investigação dos Efeitos das Solicitações do Tráfego sobre o Desempenho de Pavimentos*. São Carlos. 313p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- FHWA (1993) *Crumb Rubber Modifier – Design Procedures and Construction Practices*. Workshop Notes. U.S. Department of Transportation. Federal Highway Administration. Publication Nº FHWA-SA-93-011.
- Gallego, J.; del Val, M. A.; Tomás, R. (2000) A Spanish Experience with Asphalt Pavements Modified with Tire Rubber. *Proceedings of the Asphalt Rubber 2000 Conference*. Portugal, p.673-687.
- GEIPOT (2001) *Rede Rodoviária: extensão total das rodovias pavimentadas e não-pavimentadas – 1995-99*. Anuário Estatístico dos Transportes. Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes. Ministério dos Transportes.
- GEIPOT (2002) *Frota Nacional de Veículos Automotores – número de veículos existentes - 2000*. Anuário Estatístico dos Transportes. Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes. Ministério dos Transportes.
- Nikoulichev, M. (1999) *Tire Recycling in Russia*. Business Information Service for the Newly Independent States (BISNIS). Moscow. Feb.
- Oliveira, E. M.; Rodrigues, A. B.; Farache, C. J. T.; Santos, G. E. (2000) Perspectivas de Soluções ao Problema dos Pneus Usados na Cidade do Natal. In: SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. Porto Seguro, Bahia.
- RMA (2000) *Scrap Tires – Facts and Figures*. Rubber Manufacturers Association.
- Silva, R. N. M.; Araújo, C. R. S.; Garcez, R. M. (2000) Proteção de Encosta com Pneus – Saneamento Ambiental no Coroadinho em São Luís. In: SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. Porto Seguro, Bahia.
- UTWG (2001) *Fifth Annual Report of the UTWG*. Used Tyre Working Group. United Kingdom, July, 43 pp.