

## USO DA BORRACHA DE PNEUS NA PAVIMENTAÇÃO COMO UMA ALTERNATIVA ECOLÓGICAMENTE VIÁVEL

**Cícero Antonio Antunes Catapreta (\*), Clarissa Ana Zambiasi, Letícia Aparecida de Jesus Loyola.**

\* Engenheiro Civil (Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais), Mestre e Doutor em Saneamento, meio Ambiente e Recursos Hídricos (UFMG). Engenheiro Sanitarista da Superintendência de Limpeza Urbana de Belo Horizonte. Professor Adjunto da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais e do Centro Universitário UNA – Belo Horizonte, MG. Centro Universitário UNA. Campus Barreiro. Avenida Afonso Vaz de Melo, nº 640 - Barreiro, Belo Horizonte - Minas Gerais - CEP: 30.640-070 – Brasil – Tel: +55 (31) 3389-2701 – email: [cicero.catapreta@prof.una.br](mailto:cicero.catapreta@prof.una.br)

### RESUMO

Este trabalho teve como objetivo apresentar estudo sobre a avaliação e incorporação de borracha de pneus em ligantes asfálticos utilizados em obras de pavimentação dentro da engenharia civil, buscando a compreensão da reutilização e reciclagem da borracha de pneus inservíveis como insumo de pavimentação, buscando avaliar as vantagens de sua utilização e desempenho dessa pavimentação asfáltica, a partir da avaliação de parâmetros obtidos na execução desta no município de Belo Horizonte/MG. As misturas analisadas apresentaram resultados satisfatórios, o desempenho obteve aumento no ponto de amolecimento chegando a um índice de 65,1 °C, uma redução na penetração a 52 °C e suportando uma carga de até 203,2 MPa, garantindo ao asfalto maior resistência, deformação e durabilidade, que pode chegar a ser 10 vezes maior que o asfalto convencional. Em análise, o asfalto borracha vem se comportando como os pneus, bastante flexível e elástico permitindo que o asfalto borracha se movimente com as cargas dos veículos, esses movimentos faz com que não sejam geradas as trincas, ficando um pavimento mais resistente e durável. Nas observações e testes apresentados, o asfalto borracha demonstrou ser um material com bons resultados e viável para aplicação. Em contrapartida tem-se a desvantagem do custo da matéria prima pronta e o controle tecnológico mais apurado para a produção. Com a tecnologia usada no asfalto borracha, é possível unir situações que viabilizam a economia-social, ambiental, e a qualidade nos transportes. Uma pavimentação de qualidade permite aos usuários um tráfego seguro, confortável e fluente.

**PALAVRAS-CHAVE:** Pneu, Borracha, Asfalto, Reciclagem, meio Ambiente

### INTRODUÇÃO

Milhões de pneus são descartados anualmente no Brasil, com disposição inadequada em lixões, aterros sanitários e abandonados em terrenos baldios, podendo causar problemas ambientais, de saúde e econômicos (BERTOLDO *et al.*, 2002). Em face disto, diversas alternativas de destinação adequada de pneus inservíveis têm sido estudadas, além de ser obrigatória no Brasil, segundo as Resoluções do Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA (Resoluções nºs 23, 235, 258 e 416) e a Lei Federal nº 12.305 (BRASIL, 2010a e 2010b).

Como forma de minimizar esse passivo ambiental, já antigo, foi desenvolvida a partir da década de 1960 nos Estados Unidos uma nova mistura na composição das bases asfálticas, com o uso do “asfalto borracha”, porém, com alto custo de produção o que não permitiu sua utilização em larga escala (RODRIGO E HENKES, 2015).

A pavimentação asfáltica empregando asfalto-borracha de pneus inservíveis tem sido uma das áreas mais estudadas e consideradas como alternativa em potencial para a solução do passivo ambiental, causado por pneus inservíveis descartados de forma inadequada. Tal fato é devido basicamente a dois fatores: a possibilidade de utilização em larga escala de um grande volume de pneus inservíveis e a melhoria nas características técnicas da mistura asfáltica produzida com adição da borracha de pneu moída (SPECHT, 2004).

O asfalto-borracha, que é empregado na pavimentação asfáltica, é um asfalto modificado por borracha moída de pneus. Além de ser uma forma nobre de dar destino aos pneus inservíveis, resolvendo um grande problema ecológico, o uso de borracha moída de pneus no asfalto melhora em muito as propriedades e o desempenho do revestimento asfáltico (PETROBRAS, 2016).

Pesquisas vêm verificando os benefícios da incorporação de insumos de borracha provenientes da reciclagem de pneus em ligantes asfálticos, visando uma melhor adequação as atuais necessidades, tais como: maior durabilidade, resistência, qualidade e redução de custos (MARTINS, 2004), além de apresentar a vantagem de ser mais macio, dando conforto aos motoristas e usuários além do baixo nível de ruído.

Além, disso, apresenta a vantagem de possuir alta elasticidade, alta resistência ao envelhecimento, alta coesividade e excelente relação benefício/custo (PETROBRAS, 2016).

O asfalto produzido a partir de borracha reciclada, do ponto de vista ecológico, é uma das melhores alternativas para o descarte de pneus inservíveis, que contribui para a preservação ambiental, assim como proporciona o aumento da durabilidade do pavimento asfáltico, passando a ser maior que o convencional (MORILHA *et al.*, 2007).

Considerando isso, o presente trabalho tem como objetivo a compreensão da reutilização e reciclagem da borracha de pneus inservíveis como insumo de pavimentação, buscando avaliar as vantagens de sua utilização e desempenho dessa pavimentação asfáltica, a partir da avaliação de parâmetros obtidos na execução desta no município de Belo Horizonte/MG.

## MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado na região Nordeste do município de Belo Horizonte/MG, que se localiza na Região Sudeste do Brasil, Belo Horizonte, capital do Estado de Minas Gerais, é a sexta cidade mais populosa do país, possuindo uma população estimada de aproximadamente 2,5 milhões de habitantes e se insere em uma Região Metropolitana, formada por 34 municípios, cuja população é estimada em 5,4 milhões, sendo a terceira maior aglomeração populacional brasileira, sétima da América Latina e 62° do mundo.

O município é delimitado pelas latitudes 19°46'35'' e 20°03'34'' Sul e pelas longitudes 43°51'47'' e 44°03'47'' Oeste, e possui altitudes variando de 750 a 1.390 metros, assim como possui uma área de aproximadamente 330 km<sup>2</sup>. Belo Horizonte possui clima ameno, com temperatura média anual de 21°C, possuindo ainda um alto índice de área verde por habitante (27,15m<sup>2</sup>) e 69 parques municipais. Possui períodos chuvosos e secos bem definidos, sendo que o chuvoso dura cerca de 5 meses (outubro a março) e o seco, aproximadamente, 7 meses (abril a setembro).

Foram consideradas as obras de implantação de uma via, denominada Via 710 (Figuras 1 e 2), que se localiza na região Leste e Nordeste de Belo Horizonte, e possui uma extensão de, aproximadamente, 5,07 km, e prevê melhorias da mobilidade urbana na região em que esta sendo implantada, e possuirá, ao final, cerca de, aproximadamente, cinco quilômetros de via de rolamento que receberam pavimentação em asfalto borracha.

A aplicação vem ocorrendo em um corredor viário de alta capacidade que ligará a região Leste à região Nordeste de Belo Horizonte. O projeto da via tem como objetivo desafogar o trânsito da área central da capital o que levará mais agilidade e conforto pra quem sofre com o transito local.



Figura 1 - Projeto de implantação Via 710



Figura 2 - Localização da via 710

Para análise da eficácia do material que está sendo utilizado para pavimentação nas vias em implantação, o asfalto borracha, foi realizado o acompanhamento do processo de fabricação da massa asfáltica

Os pontos principais acompanhados aos processos de implantação do asfalto foram testes viscosidade, flexibilidade, elasticidade e durabilidade. Em análise, o asfalto borracha vem se comportando como os pneus, bastante flexível e elástico permitindo que o asfalto borracha se movimente com as cargas dos veículos, esses movimentos faz com que não sejam geradas as trincas, ficando um pavimento mais resistente e durável.

## RESULTADOS

As pesquisas foram feitas em campo, no local de implantação da Via 710, e no laboratório (Figura 3) de uma Usina de Processamento de Asfalto. Para a efetivação das pesquisas, utilizaram-se amostras de resíduos de borracha de pneus inservíveis, CAP (Cimento Asfáltico de Petróleo) e brita triturada.

Para fabricação do agregado, os pneus inservíveis passam por um processo, onde são triturados e a borracha a ser utilizada é separada dos demais componentes (Figura 4), o restante dos materiais é utilizado para outros fins.

A borracha a ser utilizada, depois de triturada, é denominada de chip<sup>1</sup>, que passa por mais um processo, o finalizado de granulação que os transformam (chip) em micro partículas com diâmetros de aproximadamente 1,5 mm a 3 mm. Somente então, estão adequados para serem transformados em ligantes.

Para o processo de fabricação da massa asfáltica, a composição utilizada para incorporação de polímeros, borracha moída de pneus com granulometria de diâmetro variando de 1,5 mm a 3,0 mm, brita 6/12 e Brita 4/10 e alguns aditivos especiais, foi o CAP 50/70, conforme a composição a seguir:

### COMPLEX B

- Asfalto (brita e compostos)
- Borracha moída de pneus (granulado)
- Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP)
- Diluente
  
- BMP.....18%
- Penetração.....50 dmm
- Recuperação elástica.....50%
- Superpave.....78-28

A adição de polímeros ao ligante asfálticos como agente modificador tem sido uma boa solução, o que leva a uma maior resistência a deformações plásticas, a altas temperaturas e suprimento ao aparecimento de fissuras por contração térmica e por fadiga.



Figura 3 - Laboratório da BALI em Minas Gerais



Figura 4 - Processo de separação dos materiais constituintes do pneu de borracha

<sup>1</sup> Os chips, pó de borracha e o nylon são produtos das indústrias trituradoras, os chips e pó de borracha se diferem pela sua granulometria.

Na etapa seguinte, foi efetuada a mistura a quente do polímero de borracha ao CAP, sob condições controladas, indo para o forno e aquecidos a uma temperatura média entre 165 °C a 175 °C, fazendo com que se obtivesse uma melhor viscosidade (Figura 6). Cumpre destacar que todas as propriedades físicas do asfalto borracha estão associadas à sua temperatura, que modifica suas características físico-químicas, dando origem a um asfalto modificado de alto desempenho.

Enquanto o procedimento era realizado, foi retirada uma amostra para controle de qualidade, e controle da viscosidade, visando avaliar a elasticidade e flexibilidade do produto. Quanto mais viscoso, mais elástico e flexível o ligante é (Figura 6), assim como quanto melhor a viscosidade melhor é a qualidade do asfalto, pois isso facilita o envolvimento com as britas fazendo com que a massa asfáltica não fique quebradiça ou se esfarelando (Figura 5), fazendo com que tenha uma espécie de liga.

Outro fator que necessita que o ligante tenha boa viscosidade é o processo de bombeamento da usina, isso facilita a transferência do agregado para dentro do misturador, para então gerar a massa asfáltica.



Figura 5 - Amostras de comportamento e composição do asfalto



Figura 6 - Amostras das composições do asfalto.

#### A) *Ensaios*

Para realização do teste de comportamento do asfalto borracha, após o procedimento da fabricação da matéria prima, foram feitas as etapas laboratoriais em que amostras do material produzido foram extraídas para testes de comportamento. O teor da borracha moída de pneus utilizados foi uma de 15 % a 18 % para o ligante Todos os ensaios foram regidos sobre as normas ABNT. Os ligantes modificados com borracha moída de pneus seguem as normas ASTM (1997). Os testes foram feitos a cada 30 toneladas de massas asfáltica produzidas.

##### a) *Penetração*

No ensaio de penetração, foi utilizado como auxílio uma agulha de 100g, tendo sido estes postos no pavimento e observado por um período aproximado de 5 segundos a uma temperatura ambiente de 25 °C. Foi observada a profundidade que o mesmo chegou. A consistência do CAP é tanto maior quanto menor for a penetração da agulha. O resultado de penetração foi de 52 °C, dentro do limite estabelecido pela Norma ASTM 6114 (1997).

##### b) *Elasticidade*

No ensaio de elasticidade, foi utilizado como auxílio o ductilometro de fluência na flexão para análise da resistência à formação de trincas, medindo a capacidade da amostra a partir da rigidez na recuperação da posição inicial após ser tracionado. O resultado foi de 203,20 Mpa, indicando que a composição ficou abaixo do limite máximo estabelecido que é de 300 Mpa.

##### c) *Ponto de amolecimento*

Para o ensaio e do ponto de amolecimento, ensaio conhecido como anel e bola, é feito com o auxílio de um anel de latão e uma amostra do asfalto borracha, onde são colocados em um recipiente com água a uma temperatura controlada, a temperatura medida no momento que a amostra toca o fundo e considerado o ponto de amolecimento. Resultado o amolecimento chegou a 65,10 °C, dentro do limite estabelecido pela Norma Brasileira NBR 15.166 (ABNT, 2007).



d) *Ponto de fulgor*

Esse ensaio foi observado o ponto de maior temperatura em que o asfalto pode ser submetido utilizando o Vaso Albert Cleveland. Foi observado até o ponto em que houve a combustão do asfalto. O resultado, o ponto chegou a 237 °C, dentro do limite estabelecido pela Norma ASTM 6114 (1997).

e) *Considerações sobre os ensaios*

Através dos ensaios de incorporação da Borracha reciclada de pneus incorporada ao CAP, foi possível confirmar a influência positiva na junção dos ligantes (Tabela 2). Com a influência de ambos tem-se uma melhor resistência a deformação do asfalto que trabalha conforme as solicitações provenientes do tráfego e da temperatura.

**Tabela 2 - Resultados dos ensaios**

Ensaio	Norma	Complexo B
Penetração (100 g, 5 s, 25° C)	ASTM D5	52
Recuperação elástica (20 cm, 25° C, 5 cm/min)	ASTM D 6084	203,2
Ponto de amolecimento	ASTM D 36	65,1
Ponto de fulgor	ASTM D 93	237

## CONCLUSÃO

O trabalho se propôs avaliar o comportamento de misturas asfálticas produzidas para aplicação em vias através dos ensaios laboratoriais, em que foi possível comprovar utilização do asfalto borracha reciclada garante melhorias nas propriedades do asfalto.

As misturas analisadas apresentaram resultados satisfatórios, o desempenho obteve aumento no ponto de amolecimento chegando a um índice de 65,10 °C, uma redução na penetração a 52 °C e suportando uma carga de até 203,20 Mpa, garantindo ao asfalto maior resistência, deformação e durabilidade, que pode chegar a ser 10 vezes maior que o asfalto convencional.

Em análise, o asfalto borracha vem se comportando como os pneus, bastante flexível e elástico permitindo que o asfalto borracha se movimente com as cargas dos veículos, esses movimentos fazem com que não sejam geradas as trincas, ficando um pavimento mais resistente e durável.

Nas observações e testes apresentados, o asfalto borracha demonstrou ser um material com bons resultados e viável para aplicação. Em contrapartida tem-se a desvantagem do custo da matéria-prima pronta e o controle tecnológico mais apurado para a produção.

Com a tecnologia usada no asfalto borracha, é possível unir situações que viabilizam a economia-social, ambiental, e a qualidade nos transportes. Uma pavimentação de qualidade permite aos usuários um tráfego seguro, confortável e fluente.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BERTOLLO, S. M.; JÚNIOR, J. L. F.; SCHALCH, V. **Benefícios da incorporação de borracha de pneus em pavimentos asfálticos**. In: XVIII Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. 2002.
- SPECHT, L. P. (2004) **Avaliação de misturas asfálticas com incorporação da borracha reciclada de Pneus**. Tese (Doutorado) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Porto Alegre, 279p.
- MARTINS, H A F, (2004) **A utilização da borracha de pneus na pavimentação asfáltica**. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Anhambí Morumbi. São Paulo, 115p. Disponível em: <http://engenharia.anhambi.br/tcc-04/civil-14.pdf> Acesso 15/05/2016.
- MORILHA, J. (2007); ARMANDO; GRECA, MARCOS ROGÉRIO **Asfalto Borracha ECOFLEX - Apresentação do Asfalto Borracha**. Cuiabá. Disponível em: <http://www.grecaasfaltos.com.br> Acesso em 03/04/2016.
- Rodrigues, C. M., Henkes, J. A. **Reciclagem de pneus: atitude ambiental aliada à estratégia econômica**. IN: Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental, Florianópolis, v. 4, n. 1, p. 448- 473, abr./set.2015.

6. BRASIL. Decreto nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010. Regulamenta a Lei no 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, cria o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para a Implantação dos Sistemas de Logística Reversa, e dá outras providências. 2010a.
7. BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. 2010b.
8. CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução nº 23, de 12 de dezembro de 1996. Dispõe sobre as definições e o tratamento a ser dado aos resíduos perigosos, conforme as normas adotadas pela Convenção da Basiléia sobre o controle de Movimentos Transfronteiriços de Resíduos perigosos e seu Depósito. Brasília: CONAMA, 1996.
9. CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução nº 235, de 7 de janeiro de 1998. Altera o anexo 10 da Resolução CONAMA nº 23, de 12 de dezembro de 1996. Brasília: CONAMA, 1998.
10. CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução nº 258, de 26 de agosto de 1999. Determina que as empresas fabricantes e as importadoras de pneumáticos ficam obrigadas a coletar e dar destinação final ambientalmente adequada aos pneus inservíveis. Brasília: CONAMA, 1999.
11. CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução nº 416, de 30 de setembro de 2009. Dispõe sobre a prevenção à degradação ambiental causada por pneus inservíveis e sua destinação ambientalmente adequada. Brasília: CONAMA, 2009.
12. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR:15166 Asfalto modificado – Ensaio de separação de fase. Rio de Janeiro, 2007.
13. ASTM - American Society for Testing and Materials. Standard Specification for Asphalt Rubber Binder, - ASTM 6114. 1997.