



v. 8 n. 1, p. 07-13, jan-mar, 2014.

ISSN 2317-3122

Editora do GVAA - Grupo Verde de Agroecologia e Abelhas - Pombal-PB - Brasil [www.gvaa.org.br](http://www.gvaa.org.br)

Revista RBGA: <http://www.gvaa.org.br/revista/index.php/RBGA>

#### Autores:

<sup>1\*</sup> Fábio Remy de Assunção Rios

<sup>2</sup> Ariosvaldo Alves Barbosa Sobrinho

<sup>3</sup> Crislene Rodrigues Silva Moraes

<sup>4</sup> Dalva Damiana Estevam da Silva

\*Autor para correspondência

Recebido para publicação em 27/04/2014. Aprovado em 15/02/2016.

1) Doutorando em Engenharia de Materiais / PPGCEMAT/UFCG. E-mail: [fabioremy@gmail.com](mailto:fabioremy@gmail.com)

2) Professor da Unidade Acadêmica de Engenharia de Materiais / UFCG. E-mail: [ariosvaldo@dema.ufcg.edu.br](mailto:ariosvaldo@dema.ufcg.edu.br)

3) Professora da Unidade Acadêmica de Engenharia de Materiais / UFCG. E-mail: [crislene@dema.ufcg.edu.br](mailto:crislene@dema.ufcg.edu.br)

4) Tecnóloga em Gestão Ambiental / IFPB. E-mail: [dalvaestevami-fpb@gmail.com](mailto:dalvaestevami-fpb@gmail.com)

## REVISTA BRASILEIRA DE GESTÃO AMBIENTAL - GVAA GRUPO VERDE DE AGROECOLOGIA E ABELHAS - POMBAL-PB - BRASIL

*Artigo Científico*

### **REUSO DOS RESÍDUOS DA BORRACHA SINTÉTICA SBR/EVA, NO ASFALTO ECOLÓGICO PARA MITIGAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS**

#### RESUMO

A gestão eficiente dos resíduos industriais é de extrema importância no contexto econômico, ambiental e social. O grande desafio no âmbito científico, é como destinar de forma racional e como reutilizar os passivos ambientais dos processos industriais. Os polímeros sintéticos possuem grande aplicabilidade, desde fabricação de calçados a componente aeroespacial, isto tem provocado a geração de indicadores acentuados de resíduos de difícil degradação, como os termofixos, os elastômeros Estireno Butadieno Rubber - SBR e elastômeros termoplásticos como o Etileno Acetato de Vinila – EVA. Este trabalho tem como objetivo, aproveitar os resíduos poliméricos da indústria (SBR/EVA), na incorporação ao ligante asfáltico CAP50/70, para aplicação em pavimentos rodoviários. A metodologia utilizada foi pesquisa em artigos especializados, livro. Para coleta de dados utilizou-se visitas *in loco* em empresas que trabalham com a fabricação de calçados em Campina Grande, Paraíba. Para caracterização foi utilizada a avaliação do ponto de amolecimento, penetração das amostras e absorção d'água. Os resultados mostraram que houve um aumento no ponto de amolecimento de acordo com o teor de resíduo polimérico adicionado, indicando um aumento na resistência à deformação permanente das misturas contendo asfalto modificado, aumento da consistência para o cimento asfáltico modificado, quando confrontados ao ligante puro, baixa absorção de água, não chegando a 1%, com tendência de estabilização, devido o fato de possui nos seus interstícios partículas de borracha residuárias que interferem na absorção d'água pelas amostras analisadas.

**Palavras-Chave:** Ligante, Polímeros, Resíduos, Reuso, Pavimento.

*REUSE OF WASTE SYNTHETIC RUBBER SBR/EVA,  
ECOLOGICAL ASPHALT TO MITIGATE ENVIRONMENTAL IMPACTS*

#### ABSTRACT

The efficient management of industrial waste is of utmost importance to the economic, environmental and social context. The big challenge in the scientific scope, is how to allocate rationally and how to reuse the environmental liabilities of industrial processes. The synthetic polymers, have wide applicability, from footwear manufacturing aerospace component, this has led to the generation of waste accented indicators are difficult to degrade, as thermosets,

elastomers Styrene Butadiene Rubber - SBR and thermoplastic elastomers such as Ethylene Vinyl Acetate - EVA. This paper has as aims to take advantage of the polymeric waste industry (SBR/EVA), for incorporation into the asphalt binder CAP50/70, for use in road pavements. The methodology used was research in articles specialized, book. For data collection, was used visits to site at companies that working with the manufacture of shoes in Campina Grande, Paraíba. To characterize was used the evaluation of the softening point, penetration and water absorption of the sample. The results showed that there was an increase in the softening point in accordance with the amount to the residue of polymer added, indicating an increase in resistance to permanent deformation of the blends containing modified asphalt increased consistency for the modified asphalt cement, when confronted with pure binder, low water absorption, not reaching 1%, with a tendency to stabilize, because the fact has in the interstices of residual rubber particles that interfere with the absorption of water by the samples analyzed.

**Keywords:** Ligand, Polymers, Waste, Reuse, Pavement.

## INTRODUÇÃO

A indústria gera resíduos de borracha elastomérica Estireno Butadieno (SBR) e elastômeros termoplásticos Etileno Acetato de Vinila (EVA), no processo de fabricação de pneus, solados, calçados tipo *flip-flop*, placas expandidas etc. Durante a fabricação do calçado, os resíduos sólidos, são decorrentes de retalhos das placas expandidas originado do processo de corte, e refugos em forma de pó oriundo do lixamento do calçado na fase de acabamento. Esses resíduos podem servir como cargas de volta ao processo de fabricação das placas (GARLET, 1996). Porém, são de grande volume e o mecanismo de reaproveitamento exige cuidados especiais, tais como: evitar retalhos que tenham excesso de silicone e eliminar todo gás existente no material a ser recuperado.

Portanto, o volume de resíduo reaproveitado é pequeno, em torno de 40%, e tem tornado-se um grande problema ambiental (GARLET, 1996). A deposição em aterros sanitários desses resíduos representa sérias implicações, causadas pela baixa velocidade de degradação e a possibilidade de provocar impactos ambientais. A incineração não é recomendada devido à geração de gases nocivos ao meio ambiente. Algumas empresas estocam os resíduos em galpões, porém pode ocorrer do volume de resíduo ultrapassar a capacidade de armazenamento e passarem a ser colocados nos pátios, com área limitada.

Atrelado a este fato, constata-se que o setor rodoviário brasileiro conta atualmente com 1,5 milhão de Km de estradas, mas apenas 212 mil km, ou seja, 13% são pavimentados, de acordo com o DNIT, dentre esta parcela grande parte possuem diversas patologias devido à falta de

manutenção e baixa qualidade do ligante asfáltico utilizado, o que motiva o desenvolvimento de pesquisas como esta, com objetivo de melhorar a qualidade dos pavimentos, desenvolver e estimular a inovação no setor construtivo rodoviário.

## FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O desenvolvimento de novos materiais como compostos fabricados com ligante CAP50/70, incorporando resíduos sólidos da indústria para aplicação em pavimentação, são desafios para os pesquisadores. As razões que motivam estas pesquisas são: mitigação do impacto ambiental, esgotamento dos recursos naturais não renováveis, etc. As exigências do manejo adequado de resíduos industriais, impostos pela Lei 12.305 – Resíduos Sólidos, a resolução 258 do CONAMA<sup>1</sup>, Anexo 01, que regulamentou parâmetros para a utilização de pneus inservíveis como agregados e modificadores da composição do pavimento asfáltico, também, motivam estudos nesta temática.

Segundo Leite (2012), a sustentabilidade é conseguida pelo emprego de resíduos da construção civil (RCD)<sup>2</sup>, agregado de aciaria, cinzas volantes, resíduos de mármore, granito e ainda pneus e resíduos de borracha, que podem ser introduzidos na mistura asfáltica. Portanto, o mapeamento dos resíduos industriais para uso como materiais não convencionais tende a se ampliar, isto, devido à necessidade de novos materiais, soluções e alternativas para os passivos ambientais.

Em contrapartida, o uso de blendas compostas de ligante asfáltico modificado por polímero, *Fileres*, fibras ou pneu, vem aumentando, como alternativa para melhoria das propriedades do ligante asfáltico em pavimentação rodoviária, conforme a Figura 1.

Figura 1- Asfalto Ecológico.



Fonte: <http://www.estadao.com.br>.

Os passivos ambientais, borrachas sintéticas SBR denominado SBRr e EVA denominado EVAr estocados (Figuras 2 e 3), podem ser reaproveitados na modificação do cimento asfáltico do petróleo (CAP), através da incorporação destes resíduos sólidos decorrentes dos processos

<sup>1</sup> CONAMA: Órgão consultivo e deliberativo do Sistema Nacional do Meio Ambiente - SISNAMA, foi instituído pela Lei 6.938/81, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, regulamentada pelo Decreto 99.274/90 (MMM, 2014).

<sup>2</sup> RCD: Resíduos de Construção e Demolição, incluem todos os resíduos provenientes de novas construções, reformas, manutenções e demolições

de edifícios e infraestruturas, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubagens, fios elétricos, etc. (Resíduo da Construção, 2013).

calçadistas para melhoria das propriedades físicas e mecânicas dos pavimentos.

Figura 2 e 3 - Resíduo do Processo Industrial Calçadista.



Fonte: Autor (2012).

A modificação com polímeros é uma solução para mitigar as deficiências do ligante e melhorar propriedades como a susceptibilidade térmica, resistência à deformação permanente e a trincas térmicas (AIREY, 2003). A adição de polímeros ao ligante CAP, vem sendo estudado desde 1969 (XIAOHU E ISACSSON, 2001), verificando-se melhora nas propriedades, como resistência à fratura a baixas temperaturas e ao escoamento sob condições de aquecimento elevado (VARMA *et al.*, 2002). França, Espanha, Alemanha e EUA são países onde as pesquisas estão avançadas, em 1970, no Texas, testes foram realizados com a incorporação de borracha de pneu ao CAP. Existe uma grande variedade de polímeros que estão sendo usados na indústria de pavimentação (LEWANDOWSKI, 1994; XIAOHU E ISACSON, 2001). Yildirim (2007) apresenta de forma resumida, características de alguns modificadores do ligante asfáltico: A borracha natural melhora a resistência à deformação e a ductilidade, mas é sensível à decomposição e apresenta problemas de compatibilidade. A borracha de pneu é uma solução correta, mas que requer temperaturas elevadas de mistura e tempos longos de digestão, a fim de prevenir a separação de fases (Borracha – Ligante Asfáltico).

## MATERIAIS E METÓDOS

### Materiais

O resíduo polimérico denominado RCA (*SBRr/EVA*), foi fornecido na forma de aparas e depois

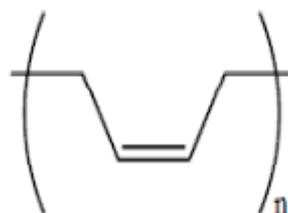
moído, é um composto de SBR contendo na sua composição EVA, as suas características estão mostradas nas Figuras 4 e 5:

Figura 4 - Resíduo polímero RCA.



Fonte: Autor (2012).

Figura 5 - Resíduo RCA – predominância do polímero SBR.



Fonte: Camboim (2012).

O resíduo de calçados RCA, tem como procedência a Fábrica São Paulo Alpargatas em Campina Grande/PB, e o asfalto CAP 50/70 é procedente da LUBNOR/CE (Figuras 6 e 7).

Figuras 6 e 7 - Amostra de CAP 50/70 e amostra do polímero RCA moído.



Fonte: Autor (2012).

Para o desenvolvimento da pesquisa foram utilizados quatro tipos diferentes de ligantes asfálticos: um convencional, produzido em escala industrial e três ligantes modificados por polímeros residuários RCA, conforme descrito:

- CAP 50/70 – Convencional;
- CAPM1: CAP 50/70 + CAP + 5%-25% RCA + 0,2%ENXOFRE+2%MDG, produzido em laboratório com agitação simples e aquecimento;
- CAPM2: CAP 50/70 + CAP + 5%-25% RCA+ 0,2%PBO, produzido em laboratório com agitação simples e aquecimento;
- CAPM3: CAP 50/70 + CAP + 5%-25% RCA + 2%MDG + 2% Filler, produzido em laboratório com agitação simples e aquecimento.

**Método**

Inicialmente realizou-se pesquisas em dissertações, teses, artigos especializados e livros para construção do embasamento empírico e teórico. Para coleta de dados utilizou-se a observação direta com visitas *in loco* em empresas que trabalham com a fabricação de sandálias para conhecer o processo de fabricação, bem como, o destino dos resíduos oriundos da fabricação das sandálias. Nesta fase, foi realizado um registro fotográfico para visualização dos

resíduos produzidos pela indústria. Após a realização das misturas, foram efetivadas as caracterizações através das análises térmica e mecânica. O procedimento metodológico para análise do ligante CAP modificado por polímero residuário do processo calçadista consistiu de ensaios de caracterização física (penetração, amolecimento e absorção,) em laboratório. O estudo utilizou materiais tais como: resíduo polimérico RCA, resíduo da mineração da extração do granito RRS, ligante CAP 50/70, reagentes, agregados, Filler de cal e equipamentos que deram suporte na confecção dos corpos de prova e análises laboratoriais.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO**

**Ensaios de Amolecimento do CAP Modificado (NBR 6560)**

Foram realizados ensaios empíricos de análises de ponto de amolecimento nas misturas asfalto-polímero das amostras respectivamente: CAPM1, CAPM2 e CAPM3. Portanto, com base na Norma Técnica do Departamento Nacional de Infraestrutura do Transporte (DNIT) 131/2010–ME, Materiais Asfálticos – Determinação do Ponto de Amolecimento: Método do Anel e Bola foi feito os ensaios, com um penetrômetro e consistiu em determinar a profundidade, em décimos de milímetros, onde a média dos resultados configurou-se conforme Tabela 1.

Tabela 1. Ponto de amolecimento do CAP puro e modificado.

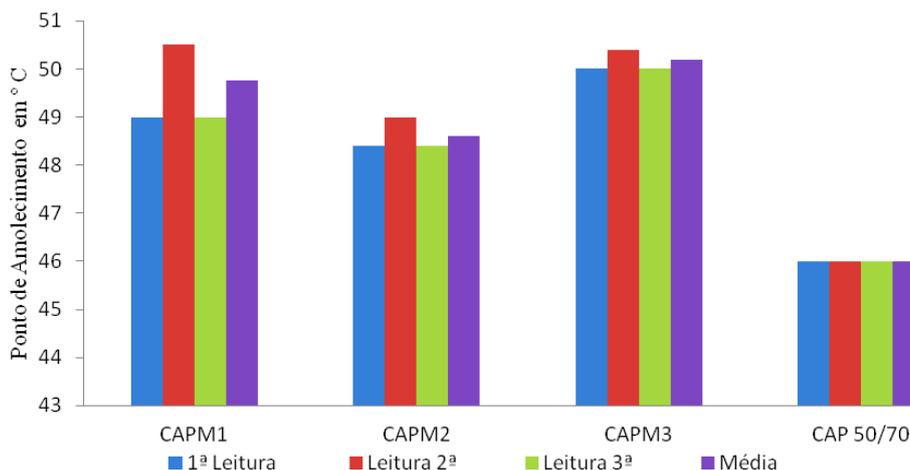
ASFALTO	%	MÉTODO	UNID	PONTO DE AMOLECIMENTO
CAP 50/70	5	DNIT 131/2010–ME	°C	46,00
CAPM1	5	DNIT 131/2010–ME	°C	49,75
CAPM2	5	DNIT 131/2010–ME	°C	44,70
CAPM3	5	DNIT 131/2010–ME	°C	50,20

Fonte: Autor, 2013.

A tabela discriminada acima mostra a análise do ponto de amolecimento das amostras do CAP modificado, verificando-se na tabela a média do comportamento do material puro e modificado, onde percebe-se que no CAP PURO o ponto de amolecimento foi de 46°C, observando uma oscilação no ponto de amolecimento para o CAPM1,

CAPM2 e CAPM3. O resultado da análise, de acordo com as leituras preestabelecidas e a média das misturas asfálticas, encontra-se discriminadas conforme o Gráfico 1 abaixo, onde pode-se perceber o desempenho e os indicadores deste ensaio.

Gráfico 1. Ponto de amolecimento.



Fonte: Autor, 2013.

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 1 e Gráfico 1, conclui-se que houve um aumento do ponto de amolecimento de acordo com o teor de resíduo polimérico adicionado nos compósitos *CAPM1*, *CAPM2* e *CAPM3*. Segundo Oda (2000), o aumento do ponto de amolecimento indica um aumento na resistência à deformação permanente das misturas contendo asfalto modificado. De acordo com Botaro *et al.*, (2006), devido aos materiais asfálticos serem constituídos de asfaltenos, maltenos e outros elementos, estes apresentam pontos de fusão diferentes, assim, a mistura desses constituintes leva a um valor médio do ponto de amolecimento.

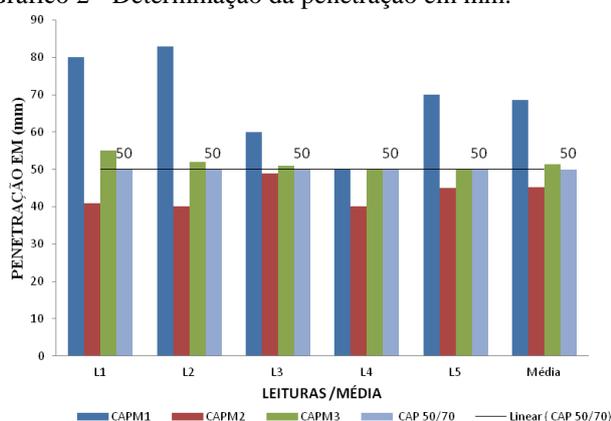
Tabela 2 - Ponto de Penetração do CAP puro e modificado.

ASFALTO	%	MÉTODO	UNIDADE	PENETRAÇÃO (100 G, 5S, 25°C)
CAP 50/70	5	NBR 6576	0,1 mm	50,00
CAPM1	5	NBR 6576	0,1 mm	68,00
CAPM2	5	NBR 6576	0,1 mm	48,00
CAPM3	5	NBR 6576	0,1 mm	53,00

Fonte: O autor, 2013.

Na análise do ensaio de penetração das amostras do CAP modificado, verificou-se, conforme o gráfico abaixo, o comportamento do material. O resultado da análise configurou-se da conforme o Gráfico 2 abaixo, o seguinte comportamento.

Gráfico 2 - Determinação da penetração em mm.



Fonte: Autor (2013).

Segundo a ANP/2005, sob as seguintes condições (100g, 5s, 25° C) o ponto de penetração do ligante asfáltico CAP 50/70 é compreendido no intervalo de 50mm a 70mm (NBR6576) e os resultados mostraram-se diferentes. Em suma, o *CAPM1* atendeu os requisitos da norma, ficando com a média parcial de 68,6mm. O *CAPM3*, atendeu os requisitos da norma, ficando com a média parcial de 51,4mm. O *CAPM2* não atendeu os requisitos da norma, ficando com a média parcial de 45,2mm.

### Ensaio de Absorção D'Água

Foram realizados os ensaios de absorção de água à 24hs nas amostras de CAP modificado conforme Figuras 8 e 9.

### Ensaio de Penetração (DNER-ME 003/99)

O ensaio de penetração tem como objetivo principal determinar a consistência do material asfáltico para aplicação em pavimentação. Foram realizadas análises de penetração nas amostras: *CAPM1*, *CAPM2* e *CAPM3*, e com base na Norma do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transito (DNIT) 155/2010 – ME, Material Asfáltico – Determinação da Penetração. Os resultados conforme a seguir na Tabela 2.

Figuras 8 e 9 - Absorção d'água corpo de prova *CAPM1*, *CAPM2* e *CAPM3*.



Fonte: O autor, 2013.

A análise constatou que o material possui uma baixa absorção de água, não chegando a 1%, com tendência de estabilização neste patamar, possui nos seus interstícios partículas de borracha que interferem na absorção d'água pelos compósitos analisados. A Tabela 3 abaixo mostra as características dos 06 corpos de prova da mistura *CAPM1*.

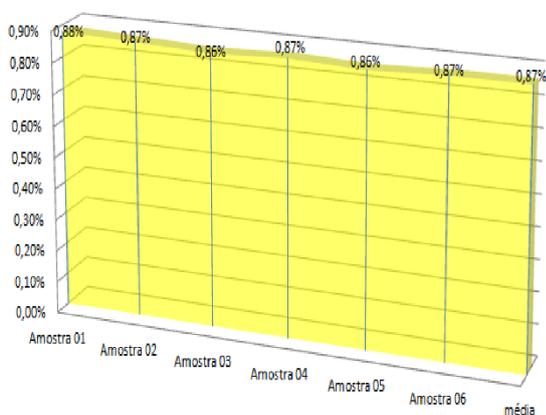
Tabela 3 - Absorção d'água dos 06 corpos de prova da mistura CAPM1.

MISTURA	%	UNID	AA (%)
<b>01</b>	5% (RCA)	%	0,88%
<b>02</b>	5% (RCA)	%	0,87%
<b>03</b>	5% (RCA)	%	0,87%
<b>04</b>	5% (RCA)	%	0,87%
<b>05</b>	5% (RCA)	%	0,87%
<b>06</b>	5% (RCA)	%	0,87%

Fonte: Autor (2013).

No Gráfico 3 é possível visualizar o desempenho do CAPM1, e as porcentagens de absorção de água para as respectivas amostras.

Gráfico 3 - Determinação da absorção em (%).



Fonte: Autor (2013).

A Tabela 4 mostra as características para os 06 corpos de prova da mistura CAPM2 onde foram determinados absorção d'água.

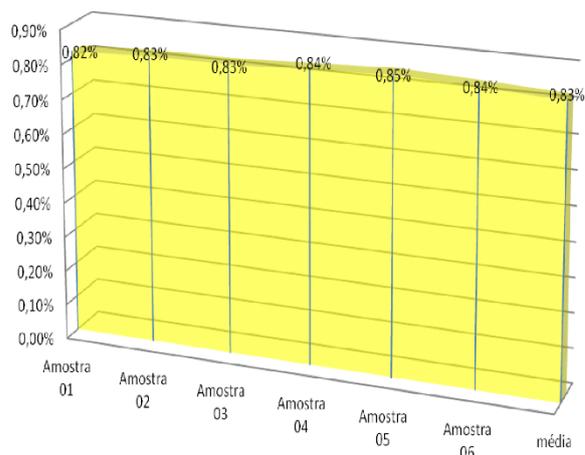
Tabela 4 - Absorção d'água dos 06 corpos de prova da mistura CAPM3.

MISTURA	%	UNID	AA (%)
<b>01</b>	5% (RCA)	%	0,82%
<b>02</b>	5% (RCA)	%	0,83%
<b>03</b>	5% (RCA)	%	0,83%
<b>04</b>	5% (RCA)	%	0,84%
<b>05</b>	5% (RCA)	%	0,85%
<b>06</b>	5% (RCA)	%	0,84%

Fonte: Autor (2013).

No Gráfico 4 é possível visualizar o desempenho do CAPM1, e as porcentagens de absorção de água para as respectivas amostras.

Gráfico 4 - Determinação da absorção em (%).



Fonte: Autor (2013).

A média dos resultados foi de 0,83%, conforme o gráfico acima, a análise constatou que o material possui uma baixa absorção de água, não chegando a 1%, com tendência de estabilização, devido o fato de possui nos seus interstícios partículas de borracha que interferem na absorção d'água pelos compósitos analisados. A Tabela 5 mostra as características para os 06 corpos de prova da mistura CAPM3.

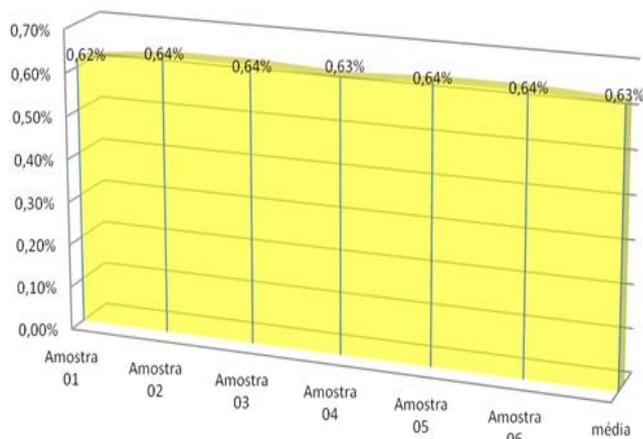
Tabela 5 - Absorção d'água dos 06 corpos de prova da mistura CAPM3.

MISTURA	%	UNID	AA (%)
<b>01</b>	5% (RCA)	%	0,62%
<b>02</b>	5% (RCA)	%	0,64%
<b>03</b>	5% (RCA)	%	0,64%
<b>04</b>	5% (RCA)	%	0,63%
<b>05</b>	5% (RCA)	%	0,64%
<b>06</b>	5% (RCA)	%	0,63%

Fonte: Autor (2013).

No Gráfico 5 é possível visualizar o desempenho do CAPM1, e as porcentagens de absorção de água para as respectivas amostras.

Gráfico 5 - Determinação da absorção em (%).



Fonte: Autor (2013).

## CONCLUSÃO

A adição de resíduos não modifica quimicamente o ligante, mas eleva a consistência do ligante CAP 50/70, acarretando melhorias nas propriedades físicas e mecânicas. Para ensaio de amolecimento, pode inferir que houve um aumento no ponto de amolecimento de acordo com o teor de resíduo polimérico adicionado nos compósitos *CAPM1*, *CAPM2* e *CAPM3*, indicando um aumento na resistência à deformação permanente das misturas contendo asfalto modificado. Para o ensaio de penetração, notou-se aumento da consistência para o cimento asfáltico modificado, quando confrontados ao ligante puro, tornando mais “duro”. Esse acréscimo é um resultado positivo, visto que proporcionará maior resistência à deformação permanente das misturas asfálticas, pois a principal função do RCA adicionado foi melhorar o desempenho, em altas temperaturas, gerando reforço ao revestimento.

A análise constatou que o material possui uma baixa absorção de água, não chegando a 1%, com tendência de estabilização, devido o fato de possui nos seus interstícios partículas de borracha que interferem na absorção d’água pelos compósitos analisados.

O principal constituinte do CAP modificado, com destacada importância foi o resíduo RCA, sendo responsável pela resistência estrutural das amostras modificadas, comprovando a sua utilização como matéria-prima adequada à mistura com o CAP50/70 para aplicação em pavimentos rodoviários, melhorando as propriedades físicas e mecânicas dos ligantes asfálticos e mitigando o passivo ambiental provocado pelas borrachas sintéticas expostas no meio ambiente.

## REFERÊNCIAS

AIREY, G. D. Rheological Properties of Styrene Butadiene Styrene Polymer Modified Road Bitumens. **Fuel**, v. 82, p. 1709-1719, 2003.

BRASIL. **Lei dos Resíduos Sólidos Nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm)> Acesso em: 08 ago. 2013.

GARLET, G. **Aproveitamento de resíduos de E. V. A. (Ethylene Vinyl Acetate) como agregado para concreto leve na construção civil**. Porto Alegre, 1998. 146p. Dissertação (Mestrado) – UFGS;

LEITE, L. F. M. Misturas Mornas e Reciclagem parecem ser as Tecnologias mais importante para Garantir a Sustentabilidade. **Revista Asfalto** NOV/DEZ 2011. p 15

LEWANDOWSKI, L. H. Polymer Modification of Paving Asphalt Binders, **Rubber Chemistry and Technology**, v. 67, p. 448 – 480, 1994.

VARMA, R; Takeichi H; HALL, J. E; OZAWA, Y. F; KYU, T. Miscibility Studies on Blends of. Kraton Block Copolymer and Asphalt, **Polymer**, v 43, p. 4667, 2002.

YILDIRIM et al. **Mixing and Compaction Temperatures for Hot Mix Asphalt concrete**, Texas Department of Transportation (2007).

XIAOHU, L; ISACSSON, U. **Polymer Testing**, v. 20, p. 77, 2001.

MMM - **Ministério do Meio Ambiente**: Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/>>. Acesso em: 08 jan. 2014.

**RESÍDUOS da construção e demolição**. Disponível em: <<http://www.cm-montemornovo.pt/reagir/classificacao%20rcd.htm>> Acesso em: 08 jan. 2014.