

ANÁLISE TÉCNICA DO APROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS POLIMÉRICOS NO SETOR DE PAVIMENTAÇÃO RODOVIÁRIA

Fábio Remy de Assunção Rios¹
Dalva Damiana Estevam da Silva²

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo analisar a viabilidade técnica do aproveitamento dos resíduos poliméricos no setor da pavimentação rodoviária. A metodologia envolveu visitas *in loco* e ensaios em laboratório, onde foram utilizados o ligante asfáltico CAP50/70 e os resíduos poliméricos RCA que são resíduos oriundos do processo de produção da indústria calçadista. O resíduo RCA tem como procedência a São Paulo Alpargatas situada em Campina Grande/PB, e o ligante asfáltico CAP50/70 é procedente da refinaria LUBNOR/CE. Após a coleta, os resíduos poliméricos RCA foram triturados. Em laboratório o ligante asfáltico do tipo CAP50/70, foi modificado a partir da incorporação e reciclagem de resíduos pós-processamento de elastômeros copolímero Estireno Butadieno (SBR) e do elastômero termoplástico copolímero Estireno Acetato de Vinila (EVA). Foram confeccionados 16 tipos diferentes de ligantes asfálticos, sendo um convencional e 15 ligantes modificados pelo RCA. Os resultados obtidos mostram que o CAP50/70 modificado com RCA a 5% obteve melhores resultados, sendo possível produzir ligantes asfálticos modificados, para aplicação em pavimentos flexíveis a partir dos resíduos poliméricos industriais, utilizando-se os mesmos procedimentos adotados na indústria da construção civil para aplicação em engenharia rodoviária.

Palavras-chave: Ligante, SBR, EVA, Reciclagem, Polímeros industriais.

INTRODUÇÃO

A indústria gera resíduos de borracha sintética elastomérica Estireno Butadieno (SBR) e elastomérica termoplástica Etileno Acetato de Vinila (EVA), no processo de fabricação de pneus, solados, calçados tipo *flip-flop*, etc. Entretanto, no processo de fabricação dos calçados nas empresas, os resíduos poliméricos são decorrentes de retalhos das placas expandidas oriundos do processo de corte e refugos em forma de pó originado do lixamento do calçado na fase de acabamento (GARLET, 1996 apud RIOS et al., 2014).

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. Para tanto, o volume de resíduo reaproveitado é pequeno, em torno de 40% da geração, e tem tornado-se um grande problema ambiental (GARLET, 1996).

¹ Doutor em Ciência e Engenharia de Materiais pela Universidade Federal de Campina Grande - PB, fabioremy@gmail.com;

² Mestra em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Campina Grande, Graduada em Gestão Ambiental - IFPB, Graduada em Licenciatura Plena em Geografia pela Universidade Estadual da Paraíba - PB, dalvaestevamifpb@gmail.com;

A deposição em aterros sanitários desses resíduos sintéticos 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 passar a ser colocado nos pátios, com área limitada.

Em contrapartida, 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 construtivas devido à falta de manutenção e baixa qualidade, em alguns casos, dos ligantes asfáltico utilizado, o que motiva o desenvolvimento de pesquisas como esta, com objetivo de desenvolver e estimular a inovação na indústria brasileira e a sustentabilidade (RIOS et al., 2014).

O desenvolvimento de novos materiais como compósitos fabricados com cimento asfáltico, incorporando resíduos sólidos da indústria para aplicação em pavimentação, são desafios constantes. As razões que motivam estas pesquisas são: inovação, esgotamento dos recursos naturais não renováveis, mitigação dos passivos ambientais. As exigências do manejo adequado pelas empresas, dos resíduos industriais, impostos pela Lei 12.305 – Resíduos Sólidos, também, motivam estudos nesta temática.

Segundo Leite (2013, s/p), "a sustentabilidade é conseguida pelo emprego de resíduos da construção civil, agregado de aciaria, cinzas volantes, resíduos de mármore e granito e ainda resíduos de borracha, que pode ser introduzido na mistura asfáltica". Todavia, o mapeamento dos resíduos industriais pelas empresas calçadistas, para uso como materiais não convencionais tende a se ampliar, isto, devido à necessidade de novos materiais, soluções e alternativas para os resíduos dos processos industriais. O uso de misturas compostas de ligante asfáltico modificado por polímero, *fileres* ou por borracha de pneu, vem aumentando, como alternativa para melhoria das propriedades do pavimento rodoviário e mitigação dos passivos ambientais.

Os passivos ambientais tipo borrachas elastoméricas SBR e EVA, estocados podem ser reaproveitados na modificação do ligante asfáltico, através da incorporação destes resíduos sólidos decorrentes dos processos calçadistas para melhoria das propriedades mecânicas dos pavimentos rodoviários. A modificação com polímeros é uma solução para mitigar as deficiências do ligante e melhoria das propriedades como a susceptibilidade térmica, resistência à deformação permanente e a trincas térmicas (AIREY, 2003).

A adição de polímeros nobre ao ligante 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 ligante asfáltico (LUCENA, 2005, p. 16).

Existe uma grande variedade de polímeros que estão sendo usados na indústria de pavimentação (LEWANDOWSKI, 1994; XIAOHU e ISACSON, 2001). Yildirim *et al.*, (2000) 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 apresentam 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 (Polímeros – Ligante Asfáltico).

Neste sentido, o objetivo desse trabalho foi analisar a viabilidade técnica do aproveitamento dos resíduos poliméricos no setor da pavimentação rodoviária. A incorporação de resíduos produzidos na indústria que são descartados no meio ambiente pode ter outra destinação o reaproveitamento, diminuindo assim os passivos ambientais e a degradação do meio ambiente.

PAVIMENTO ASFÁLTICO SUSTENTÁVEL

Asfalto pode ser definido como uma mistura de hidrocarbonetos derivados do petróleo, obtido por meio de destilação ou de forma natural, cujo principal componente é o betume, podendo apresentar também, em sua composição, oxigênio, nitrogênio e enxofre em pequenas proporções. O betume é uma mistura de hidrocarbonetos pesados que apresenta propriedades ligantes, inflamáveis e de elevada viscosidade. Portanto, o asfalto consiste em um material betuminoso. No Brasil, os termos betume e asfalto são frequentemente utilizados como sinônimos (CNT, 2019).

O asfalto é bastante utilizado na construção civil, devido as suas características impermeabilizantes e adesivas. Quando o asfalto derivado do refino do petróleo apresenta propriedades físicas que se enquadram em classificações estabelecidas por normativos específicos (Resolução da ANP nº 19, de 2005), esse passa a ser denominado como cimento asfáltico de petróleo (CAP). Os CAPs apresentam qualidades que os tornam apropriados para aplicação na camada de revestimento das rodovias, que é a camada do pavimento perceptível

ao usuário e que possui interferência direta no conforto e na segurança com que o veículo trafega (CNT, 2019).

A função primária do asfalto no pavimento é promover aderência entre os agregados da mistura e entre ela e a superfície onde será aplicada, constituindo a parte denominada de "ligante". Além disso, é o responsável por proporcionar flexibilidade adequada à superfície da via para que ela resista ao tráfego e as condições climáticas sem apresentar deformações ou trincas precoces, o que compromete a durabilidade da infraestrutura (CNT, 2019).

De acordo com a Confederação Nacional do Transporte (CNT, 2013, p. 340) "46,9% das rodovias pavimentadas brasileiras apresentaram problemas". Entre os problemas pode-se destacar como um dos principais as deformações permanentes ou afundamento de trilha de roda. A deformação permanente nos revestimentos asfálticos pode ser definida como depressões longitudinais nas trilhas de roda, as quais aumentam com as cargas repetidas impostas pelo tráfego de veículos (MAHMOUD e BAHIA, 2004 apud SIMIONATO, SILVA-JÚNIOR e FONTENELE, 2018).

No Brasil o asfalto é utilizado em mais de 99% dos trechos pavimentados (CNT, 2019, p. 5). Esse insumo apresenta preço elevado o que encarece os custos de construção e manutenção das vias. Além disso, pavimentos com deformações e danificados contribuem para o desgaste dos veículos aumentando o consumo de combustível e o tempo da viagem, gerando prejuízos aos que utilizam as rodovias e a economia do país.

Neste sentido, novas as pesquisas vêm sendo desenvolvidas na busca de soluções que tornem o asfalto mais duradouro e sustentável. Sendo a sustentabilidade um ideal a ser concretizado no ramo da construção civil. A busca pela sustentabilidade faz com que o ser humano procure novas técnicas construtivas utilizando de forma racional os recursos naturais. Essa preocupação faz com que novas pesquisas sejam desenvolvidas agregando materiais que antes seriam destinados e dispostos em lixões. A figura 1 abaixo mostra pavimento asfáltico padrão adotado no Brasil e modificado com pneus.



Figura 1 - (A) Pavimento Asfáltico Padrão e (B) Pavimento Asfáltico Borracha. Fonte: Internet.

Atualmente estão sendo incorporados aos CAPs materiais como pneus e borrachas provenientes do processo industrial calçadista. Com o intuito de melhorar as "propriedades mecânicas das misturas asfálticas, bem como, reduzir o passivo ambiental causado pela crescente deposição inadequada [...] na natureza, muitos países vêm desenvolvendo tecnologia para a incorporação de borracha moída [...] em revestimentos asfálticos" (GÓMEZ-PABLO, 2017).

A Confederação Nacional dos Transportes (CNT, 2019, p. 59-62) apresenta algumas alternativas de materiais que podem "melhorar o desempenho do asfalto na pavimentação são elas: Asfalto modificado por TLA (*Trinidad Lack Asphalt*), Asfalto modificado por polímeros, Asfalto modificado por ácido polifosfórico (*polyphosphoric acid* - PPA) e o Asfalto-borracha".

É importante ressaltar que não existe uma solução única, nem um modificador ideal para o asfalto. A melhor seleção deve ser feita de acordo com as necessidades e características de cada obra. Destaca-se, também, que o emprego de modificadores que melhoram o desempenho do pavimento não elimina a necessidade de solução dos problemas apresentados relacionados ao CAP convencional (CNT, 2019).

A utilização do asfalto modificado seria uma solução para a destinação ambientalmente adequada dos resíduos, entretanto, a fabricação em larga escala ainda é pouco realizada pela indústria. A utilização do asfalto com modificação é uma alternativa que se apresenta viável para diminuir a problemática das rodovias, melhorando a malha viária.

Por fim, cabe destacar que alguns especialistas consideraram que a utilização de CAP convencional, mesmo que nas qualidades e especificações adequadas, não atenderia, de forma apropriada, à atual composição do tráfego nas rodovias do Brasil. Por isso, a utilização de CAP modificado seria um futuro inevitável para o setor (CNT, 2019).

METODOLOGIA

Para a coleta de dados realizou-se 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.

Os resíduos poliméricos dos calçados, denominados *RCA*, foi fornecido na forma de aparas e depois moído, é um composto de SBR, denominado *SBRr* e contém na composição traços do polímero EVA, denominado *EVAr*. O resíduo *RCA* tem como procedência a São

Paulo Alpargatas situada em Campina Grande/PB, e o ligante asfáltico CAP50/70 é procedente da refinaria LUBNOR/CE (Figura 2).



Figura 2 - (A) Resíduos poliméricos RCA, (B) Resíduo moído e (C) Ligante asfáltico. Fonte: (A) o autor (2012) e (B) e (C) CAMBUIM (2004).

O resíduo foi coletado e triturado em moinho de facas, com granulometria aproximadamente 96,94%, entre as malhas 0,075mm (#200ASTM) e 0,6mm (#30ASTM), dentro da faixa mais adequada, foram feitas as composições para a mistura com o ligante asfáltico.

Para o desenvolvimento da pesquisa foram utilizados 16 tipos diferentes de ligantes asfálticos, sendo um convencional produzido em escala industrial e 15 ligantes modificados pelo RCA, conforme descrito a seguir:

- Ligante CAP 50/70 – Convencional.
- **CAPMI** (CAP50/70, RCA, PBO (Peróxido de benzoíla)), com as seguintes composições:
 1. CAP 50/70 + CAP + 5% RCA+ 0,2%PBO, produzido em laboratório com agitação simples e aquecimento;
 2. CAP 50/70 + CAP + 10% RCA+ 0,2%PBO, produzido em laboratório com agitação simples e aquecimento;
 3. CAP 50/70 + CAP + 15% RCA+ 0,2%PBO, produzido em laboratório com agitação simples e aquecimento;
 4. CAP 50/70 + CAP + 20% RCA+ 0,2%PBO, produzido em laboratório com agitação simples e aquecimento;
 5. CAP 50/70 + CAP + 25% RCA+ 0,2%PBO, produzido em laboratório com agitação simples e aquecimento.

- **CAPM2** (CAP50/70, RCA, MDG, Enxofre), com as seguintes composições:
 1. CAP 50/70 + CAP + 5% RCA + 0,2% Enxofre + 2% MDG, produzido em laboratório com agitação simples e aquecimento;
 2. CAP 50/70 + CAP + 10% RCA + 0,2% Enxofre + 2% MDG, produzido em laboratório com agitação simples e aquecimento;
 3. CAP 50/70 + CAP + 15% RCA + 0,2% Enxofre + 2% MDG, produzido em laboratório com agitação simples e aquecimento;
 4. CAP 50/70 + CAP + 20% RCA + 0,2% Enxofre + 2% MDG, produzido em laboratório com agitação simples e aquecimento;
 5. CAP 50/70 + CAP + 25% RCA + 0,2% Enxofre + 2% MDG, produzido em laboratório com agitação simples e aquecimento.

- **CAPM3** (CAP50/70, RCA, MDG e Resíduo de Rochas Silicatas (RRS)), com as seguintes composições:
 1. CAP 50/70 + CAP + 5% RCA + 2% MDG + 2% Resíduo de Rochas Silicatas (RRS), produzido em laboratório com agitação simples e aquecimento,
 2. CAP 50/70 + CAP + 10% RCA + 2% MDG + 2% Resíduo de Rochas Silicatas (RRS), produzido em laboratório com agitação simples e aquecimento,
 3. CAP 50/70 + CAP + 15% RCA + 2% MDG + 2% Resíduo de Rochas Silicatas (RRS), produzido em laboratório com agitação simples e aquecimento,
 4. CAP 50/70 + CAP + 20% RCA + 2% MDG + 2% Resíduo de Rochas Silicatas (RRS), produzido em laboratório com agitação simples e aquecimento,
 5. CAP 50/70 + CAP + 25% RCA + 2% MDG + 2% Resíduo de Rochas Silicatas (RRS), produzido em laboratório com agitação simples e aquecimento.

Após as realizações das misturas, foram efetivadas as caracterizações através das análises térmica e física. Os procedimentos metodológicos para análise do CAP modificado por polímero residuário do processo calçadista consistiram de ensaios de caracterização termogravimétrica (TG) e análise da reologia em laboratório.

O estudo utilizou materiais tais como: resíduo polimérico RCA (*SBRr*, *EVAr*), resíduo da mineração da extração do granito (RRS), fornecido pela GRANFUGI, ligante CAP 50/70, reagentes, Peróxido de Benzoíla ($C_{12}H_{10}O_4$) e Metacrilato de Gricidila ($C_7H_{10}O$) e equipamentos que deram suporte na confecção das amostras e análises laboratoriais (Quadro 1).

Quadro 1 - Procedimentos de execução da análise.

EQUIPAMENTOS	MODELO
Equipamento DCS	Especificação: Dynamic Shear RHEMOTER
Equipamento TGA 50	Shimadzu
Reator	Especificação tipo KETLE
Balança de Precisão Estufa	Especificação METLER 9200
Agitador Mecânico	Especificação FISATOM

Fonte: O autor (2012).

O procedimento de execução da análise consistiu das seguintes etapas, conforme a figura 3 abaixo.



Figura 3 - Macrofluxo - Procedimentos de execução da análise. Fonte: O autor (2012).

A macrofluxo acima mostra de forma simplificada as etapas realizadas para obtenção do CAP modificação com barracha sintética.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 mostra a perda de massa do *CAPMI*, na análise termogravimétrica sobre condições de temperatura e carregamentos controlados, registradas na temperatura entre 25 °C -500°C, atmosfera inerte de N₂ e velocidade de 10°C/min., com teor de resíduos RCA de 5% a 25% do peso próprio, incorporado no asfalto CAP 50/70.

Tabela 1 - Eventos ocorridos na degradação do *CAPMI*. T = teor; t=temperatura; PM=perda de massa; PMt=perda de massa total.

T(%)	t(°C)	PM (%)	t(°C)	PM (%)	PMt
5	225,8 a 390,99	31,22	390,99 a 500	38,91	70,15
10	221,32 a 496,32	71,90	-	-	71,9
15	210,93 a 493,63	72,16	-	-	72,16
20	217,31 a 368,02	31,85	368,02 a 481,43	43,35	75,2
25	219,10 a 382,24	34,80	382,24 a 489,22	43,18	77,9

Fonte: Produção do autor (2013).

O desempenho do *CAPMI* nas composições de 5%, 10%, 15%, 20% e 25% nas análises termogravimétricas demonstraram que houve melhoramento das propriedades do asfalto com a adição dos resíduos poliméricos com 5% RCA (Figura 4).

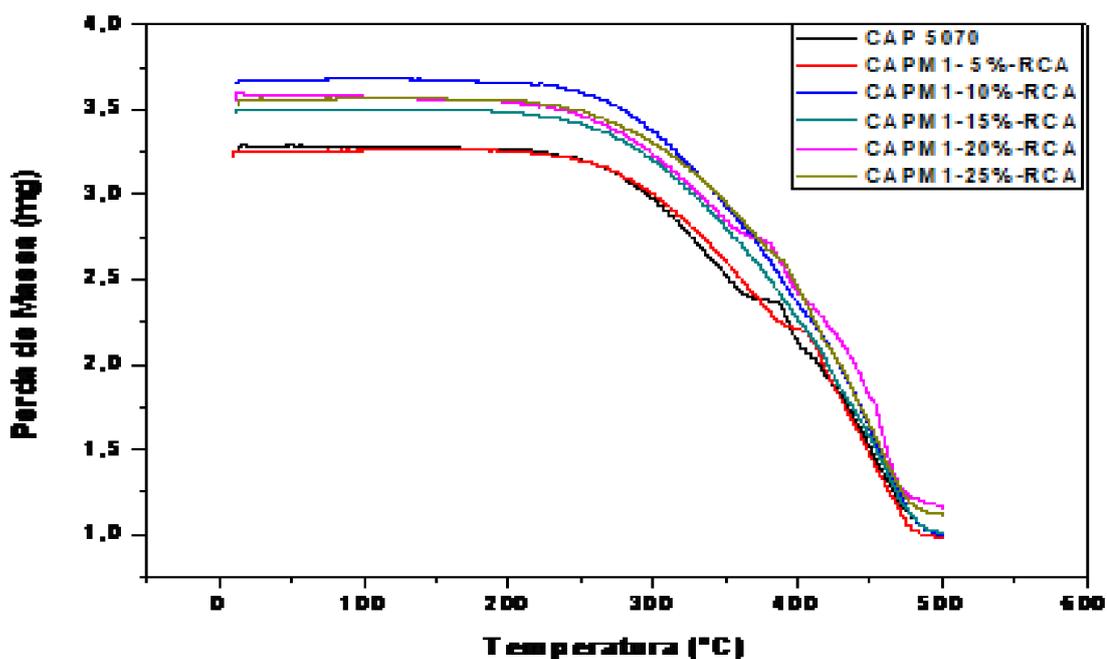


Figura 4 - TG CAPM1 - CAP modificado. Fonte: O autor (2012).

Foram observados efeito das reações irreversíveis como a oxidação do asfalto, e fenômenos reversíveis, como a eliminação de frações voláteis. O *CAPMI* a 5% apresentou a menor perda de massa (70,5%) e melhor estabilidade térmica (225,83°C), portanto, o melhor desempenho, tornando-o hábil para aplicação na pavimentação.

O início da decomposição refere-se à fusão e volatilização de substâncias do ligante CAP 50/70, a partir dos 225,83°C refere-se à degradação do resíduo polimérico RCA, atribuídos à volatilização das moléculas de água e outros compostos. A partir de 390,99°C a 500°C corresponde à perda do excesso, devido à decomposição do *CAPMI*, influenciando nas propriedades mecânicas.

Percebe-se a inviabilidade da aplicação em pavimentação de misturas acima de 10% de RCA, devido à quantidade do material não apresentar a morfologia, fluidez e estado físico adequado. A Tabela 2 mostra o desempenho para o *CAPM2* na termogravimetria registradas na temperatura entre 25°C e 500°C, atmosfera inerte de N₂ e velocidade de 10°C/min., com teor de RCA de 5% a 25% do peso próprio, incorporado no CAP 50/70.

Tabela 2- Eventos ocorridos na degradação do *CAPM2*. T=teor; t=temperatura; PM=perda de massa; PMt=perda de massa total.

T(%)	t(°C)	PM (%)	t(°C)	PM (%)	t°C	PM	PMt (%)
5	220,2 a 386,8	31,10	386,08 a 493,79	35,6	-	-	66,7
10	198.4 a 425.6	59.70	425,69 a 493.15	17,3	-	-	77,3%
15	205.0 a 366.4	27.43	366,48 a 409,65	22.1	409.6 a 92.76	29.3	78,8
20	198.5 a 496.8	77.14	-	-	-	-	79,3
25	197.2 a 492.3	81.90	-	-	-	-	81,9%

Fonte: Produção do autor (2013).

O desempenho do *CAPM2*, nas composições de 5%, 10%, 15%, 20% e 25%, nas análises das curvas termogravimétricas, demonstraram que a mistura a 5% rendeu melhores resultados, conforme a degradação em temperatura variando de 25°C a 500°C (Figura 5).

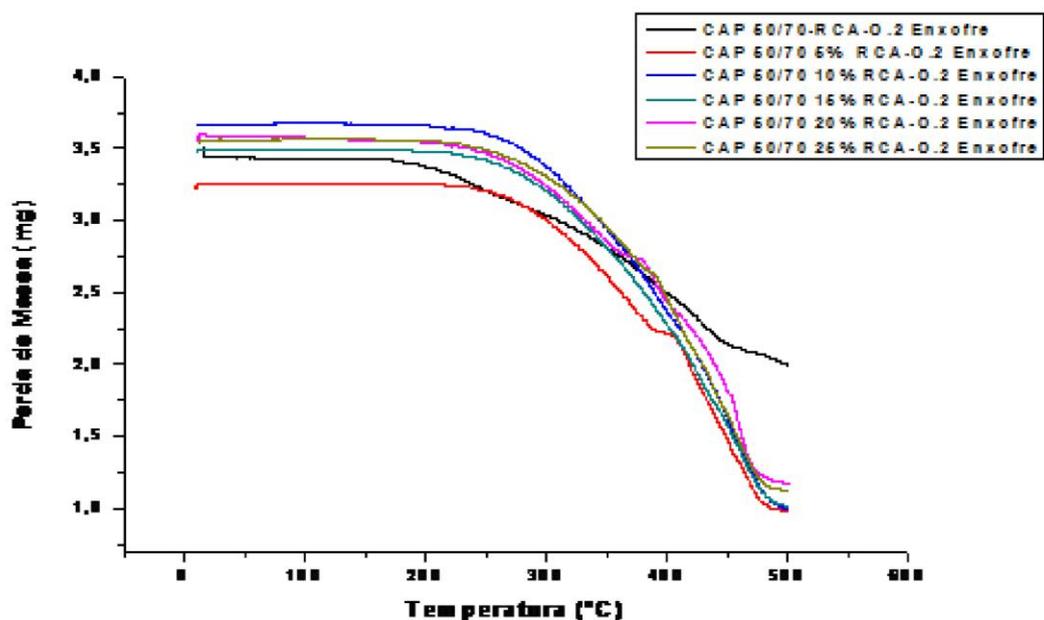


Figura 5 - TG CAPM2 – CAP modificado com RCA. Fonte: O autor (2012).

O material CAPM2 a 5% de RCA apresentou estabilidade térmica até 220,21°C e menor perda de massa total (66,70%), tornando-o possível para aplicação na pavimentação. A partir de 220,21°C inicia-se a decomposição, devido à fusão e volatilização de substâncias do ligante e degradação do resíduo RCA, pela volatilização das moléculas de água e de outros compostos. A segunda iniciando em 386,08°C até 493,73°C corresponde à perda do excesso.

A degradação do CAPM2 influencia nas propriedades mecânicas do CAP modificado, são decorrentes da transformação físico-química em função da temperatura até 500°C. Percebe-se a inviabilidade da aplicação de misturas acima de 10% de RCA, devido à quantidade de resíduos e não apresentar a morfologia, fluidez e estado físico adequado, tornando-se muito viscoso e inadequado para uso como ligante a ser aplicado em pavimentação asfáltica.

Nas amostras do CAPM3 o comportamento, ocorre conforme a Tabela 3.

Tabela 3 - Eventos ocorridos na degradação do CAPM3. T=teor; t=temperatura; PM=perda de massa; PMt=perda de massa total.

T (%)	t (°C)	PM (%)	t (°C)	PM (%)	PMt (%)
5	196.47 a 495.18	65.05	-	-	65.05
10	189.08 a 497.94	69.72	-	-	69.72
15	166.13 a 498.77	70.43	-	-	70.43
20	168 a 491	75.89	-	-	75.89
25	167.14 a 495	76.26	-	-	76.26

Fonte: Produção do autor (2012).

As perdas de massa verificadas nas amostras estudadas são decorrentes das transformações químicas sob condições de temperatura e carregamentos controlados nos intervalos de 24°C a 500° C, atmosfera inerte de N₂ e velocidade de 10°C/min., com teor de resíduos de 5 a 25% do peso próprio, incorporado ao ligante CAP 50/70.

A figura 6 abaixo mostra o desempenho do compósito denominado *CAPM3*, nas composições de 5%, 10%, 15%, 20% e 25%, nas análises termogravimétricas que mede a variação de massa da amostra em relação à temperatura e/ou tempo em uma programação controlada, e possibilitando conhecer a faixa de temperatura em que a amostra se decompõe, o andamento das reações de oxidação e decomposição.

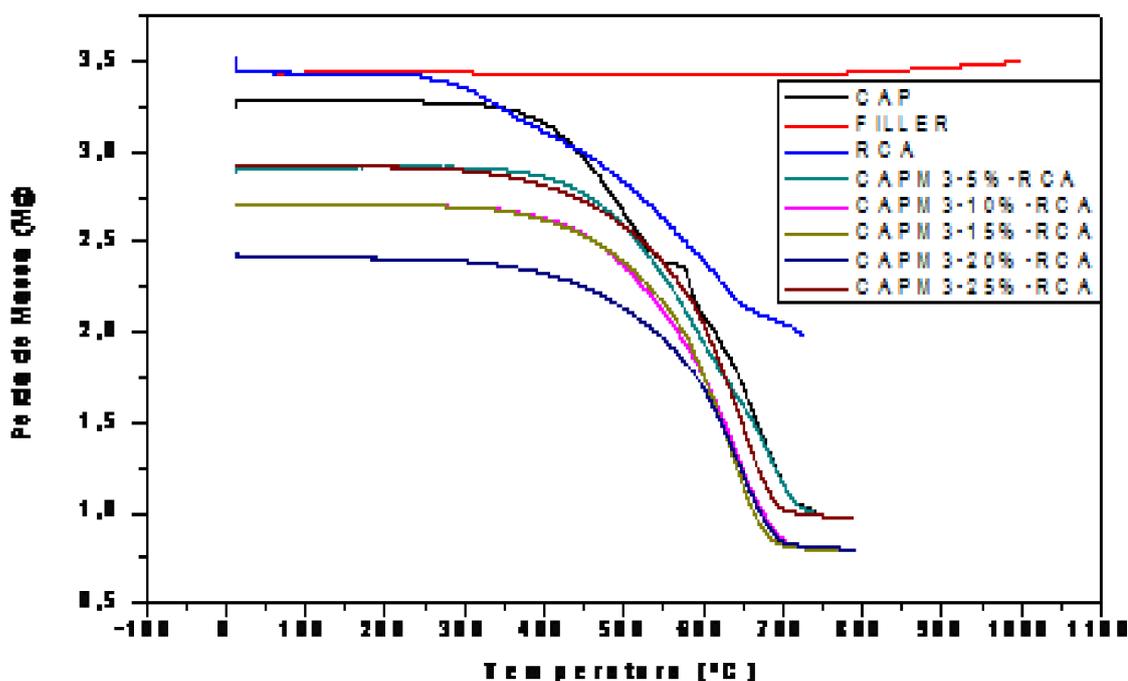


Figura 6 - TG do *CAPM3* - CAP modificado com *RCA* e *filler* de rocha silicatada. Fonte: O autor (2012).

O *CAPM3* a 5% de *RCA* até a temperatura de 196°C resiste termicamente o que o torna hábil para sua aplicação na pavimentação, com menor perda de massa total (65,05%), portanto, o melhor desempenho. Apresenta um evento de decomposição entre 196°C e 495°C.

O *CAPM3* apresentou estabilidade térmica menor que as demais, isso se deve a reações químicas do *RCA* e o *RRS* com o ligante CAP 50/70 e seu ativador, o MDG. Percebe-se a inviabilidade da aplicação em pavimentação das misturas acima de 10% de *RCA*, pela grande quantidade de resíduos, baixa fluidez do material e devido não apresentar a morfologia e estado físico adequado para aplicação em pavimentação asfáltica.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados, podemos inferir que a presença de polímeros residuários RCA, fornece maior resistência a variações de temperatura, sem que haja uma grande degradação. Entretanto, a adição de resíduos não modifica quimicamente o ligante, mas eleva a consistência do CAP 50/70, acarretando melhorias nas propriedades físicas.

Entre os CAPs modificados, a melhor composição foi a 5% que apresentou menor perda de massa total e estabilidade. Dessa forma, o pavimento flexível apresenta características que podem melhorar o asfalto convencional, reduzindo os problemas comuns apresentados nas rodovias, viabilizando a malha viária. Além disso, a retirada dos resíduos do meio ambiente, dando uma destinação ambientalmente correta colabora para a gestão ambiental, onde todos saem ganhando, seja a natureza ou a população.

Novas pesquisas vêm sendo desenvolvidas a cada dia, tendo a indústria mais opções de produção de materiais que visem à sustentabilidade reduzindo os passivos ambientais. Os CAPs modificados apresentam bons resultados, em termo de resistência, flexibilidade dentre outras propriedades mecânicas que proporcionam melhor qualidade ao asfalto.

REFERÊNCIAS

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

ANP - Agência Nacional de Petróleo. Resolução ANP N°19, de 11 de julho de 2005.

BRASIL. LEI DOS RESÍDUOS SÓLIDOS N° 12.305, DE 2 DE AGOSTO DE 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm>. Acesso em: 08 agost. 2013.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE - CNT. **Transporte Rodoviário:** Impactos da qualidade do asfalto sobre o transporte rodoviário. Brasília, 2019, 75p. Disponível em: <<https://www.cnt.org.br/home>> Acesso em: 02 out. 2019.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE - CNT. Pesquisa CNT de Rodovias: Relatório Gerencial. CNT: SEST: SENT. Brasília, 2013, 389p. Disponível em: <<https://pesquisarodovias.cnt.org.br/Edicoes>> Acesso em: 02 out. 2019.

GARLET, G. Aproveitamento de resíduos de E. V. A. (*Ethylene Vinyl Acetate*) como agregado para concreto leve na construção civil. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Escola de Engenharia - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1998. 146p.

GÓMEZ-PABLO, F. G. Práticas sustentáveis nos pavimentos e sua possível aplicação no mercado brasileiro: Presente e futuro. Monografia (Graduação em Engenharia Civil), Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2017, 67p.

LEITE, L. F. M. **Sustentabilidade de Pavimentos Asfálticos**. In: Boletim Técnico. 2013. Disponível em: <<http://www.sinicesp.org.br/materias/2013/bt07a.htm>> Acesso em: 04 out. 2019.

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

LUCENA, M. C. C. Caracterização química e reológica de asfaltos modificados por polímeros. Tese (Doutorado em Química Inorgânica) Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2005, 164p.

MAHMOUD, S. F. F; BAHIA, H. Using the Gyrotory Compactor to Measure Mechanical Stability of Asphalt Mixtures. Wisconsin Highway Research Program 0092-01-02, Madison, Wisconsin, EUA, (2004).

RIOS, F. R. A; BARBOSA-SOBRINHO, A. A. MORAIS, C. R. S; SILVA, D. D. E. Reuso dos resíduos da borracha sintética SBR/EVA, no asfalto ecológico para mitigação dos impactos ambientais. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental**, v. 8, n. 1, p. 07-13, jan-mar, 2014. ISSN 2317-3122.

SIMIONATO, L. R; SILVA-JÚNIOR, C. A. P; FONTENELE, H. B. O efeito da alteração do ligante asfáltico no desempenho de pavimentos flexíveis. **Revista de Engenharia Civil**, n. 54, p. 26-35, 2018.

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).

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

YILDIRIM, Y; SOLAIMANIAM, M; KENNEDY, T. W. *Mixing and Compaction Temperatures for Hot Mix Asphalt Concrete*. Report n. 1250-5, Austin, University of Texas, 2000.