

# **ESTUDO DA ADIÇÃO DE AGENTES MODIFICADORES NO ENVELHECIMENTO DO LIGANTE E NO COMPORTAMENTO MECÂNICO DE MISTURAS ASFÁLTICAS**

**Dr. Glicério Trichês**

Universidade Federal de Santa Catarina

**Msc. Armando Morilha Junior**

Greca Distribuidora de Asfaltos

## **RESUMO**

O presente trabalho apresenta os resultados de uma pesquisa de laboratório sobre a influência de agentes modificadores no envelhecimento de ligantes asfálticos e no comportamento de misturas asfálticas. Para tanto, foram utilizados três tipos de simulações de envelhecimento: pelo ensaio TFOT (Thin Film Oven Test), pelo ensaio RTFOT (Rolling Thin Film Oven Test) e através da recuperação de ligante asfáltico pelo Método de Abson de corpos de prova Marshall moldados em laboratório. Foram analisados 9 ligantes asfálticos: 2 ligantes tradicionais (CAP 20 e CAP 40) da REPAR – Refinaria Presidente Vargas, um ligante CAP 7 fluxado e 7 ligantes asfálticos modificados por polímero (3 por SBS, 1 por EVA e 2 por borracha moída de pneus). Os ligantes foram caracterizados física e reologicamente em quatro situações: ligante original, ligante após TFOT, ligante após RTFOT e ligante recuperado após moldagem dos corpos-de-prova Marshall. A análise de envelhecimento conduzida levou em conta os seguintes ensaios: perda de massa, penetração, ponto de amolecimento, recuperação elástica e viscosidade dinâmica à temperatura 135°, 155° e 175°C. Para avaliar o comportamento mecânico foram realizados ensaios de resistência à tração e de módulo resiliente à temperatura de 25° e 40°C. Ao final da pesquisa, foi observado o aumento de consistência de todos os ligantes, mas dois destes, o modificado por EVA e por borracha de pneus, apresentaram melhoria na recuperação elástica após o ensaio RTFOT e melhor comportamento mecânico. Ressalte-se também a maior severidade quanto ao envelhecimento, obtida no ensaio RTFOT em comparação com o ensaio TFOT, até então utilizado no Brasil.

## **ABSTRACT**

This paper presents the results of a laboratory study carry out about the influence of the modifiers addition on aging process asphalt binder, through the characterization of their physical and rheological properties and the mechanical behavior of the hot mix asphalt properties made with this asphalt binders. A traditional asphalt binder was modified by SBS and EVA polymers and a ground rubber of tires (asphalt rubber) and submitted to laboratory aging test. Three types of simulations aging test were evaluated: Thin Film Oven Test (TFOT), Rolling Thin Film Oven Test (RTFOT) and asphalt binder residues recovered from the broken Marshall samples by Abson approach. The study covers nine asphalt binder: Three traditional asphalt binder (CAP 7, CAP 20 and CAP 40), four asphalt binder modified by polymers (3 by SBS and 1 by EVA and two modified by ground rubber of tires). The aging process asphalt binder led in count the following attempt: mass loss, penetration, ring boll point, elastic recuperation and dynamic viscosity to 135°, 155° and 175°C. These aged and unaged asphalt mixtures were evaluated by indirect tensile tester and resilient modulus at 25° and 40°C. The findings support the use of SBS, EVA and rubber of tire as asphalt additives for improved the increase in consistency of all of the asphalt binder, but two of these, modified by EVA and by rubber of tires, presented improvement in the elastic recuperation after RTFOT and the mix made with modified binders showed better thermal susceptibility and mechanical behavior. Was observed also to a bigger severity as regards at RTFOT in comparison with TFOT, that is the tester utilized in Brazil.

## **1. INTRODUÇÃO**

Atualmente, um dos grandes desafios da pavimentação rodoviária com misturas asfálticas a quente é reduzir o envelhecimento do cimento asfáltico de petróleo (CAP) durante todo o seu ciclo de aplicação. Pode-se definir envelhecimento como sendo o processo que sofre o ligante asfáltico durante a estocagem, usinagem, aplicação e em serviço, responsável pela alteração de suas características físicas, químicas e reológicas que causam um aumento na sua consistência (DNER, 1998; Leite, 1999; Tonial, 2001; Faxina, 2002).

O aumento de consistência do ligante se apresenta da seguinte forma: normalmente ocorre uma diminuição de sua penetração, aumento do ponto de amolecimento, aumento da viscosidade e diminuição da resposta elástica. Esse aumento de consistência influencia o comportamento físico e reológico do ligante, deixando-o mais duro e, por conseguinte, menos dúctil e elástico. A combinação destes fatores resulta em uma mistura asfáltica mais rígida e menos apta a resistir, de maneira adequada, aos esforços do tráfego, reduzindo assim significativamente a vida útil do revestimento (Leite et al, 2002; Lucena et al, 2002).

Os asfaltos são afetados principalmente pela presença de oxigênio, pela radiação ultravioleta e por variações de temperatura. Quatro mecanismos principais são responsáveis pelo envelhecimento do asfalto (Whiteoak, 1991):

- **Oxidação:** durante o processo de usinagem, a presença de oxigênio, a grande superfície específica dos agregados e as altas temperaturas dentro do pug-mill ou dentro do tambor-secador-misturador fornecem a somatória ideal para que ocorra a oxidação em larga escala (Brock, 1996);
- **Perda de voláteis:** esta perda pode ser considerada baixa em asfaltos puros tendo em vista que estes têm baixos teores de voláteis;
- **Endurecimento físico:** ocorre à temperatura ambiente e é atribuído à reordenação de moléculas e cristalização de parafinas; e,
- **Endurecimento exsudativo:** resulta do movimento dos componentes oleosos que exsudam do betume para dentro do agregado mineral. Esta é uma função tanto da tendência de exsudação do betume como da porosidade do agregado.

## 2. LIGANTES ASFÁLTICOS UTILIZADOS

Foram utilizados os seguintes ligantes:

- CAP 20 e CAP 40 tradicionais, oriundos da REPAR - Refinaria Presidente Getúlio Vargas localizada em Araucária, Paraná (ligantes obtidos em janeiro de 2002);
- CAP 7, fluxado a partir de um CAP 40, doravante denominado de CAP 7;
- Três ligantes modificados por polímero SBS, com teores de 3, 4 e 5,5%, doravante denominados de SBS 3%, SBS 4% e SBS 5,5%;
- Ligante modificado por EVA, com teor de 5%, doravante denominado de EVA 5%; e,
- Dois ligantes modificados por borracha moída de pneus, por via úmida, com teores de 15 e 20%, doravante denominados de BMP 15% e BMP 20%.

Os procedimentos adotados para o estudo de envelhecimento foram os seguintes:

- Através do ensaio de efeito do calor e do ar em película delgada, procedimento ASTM D 1754, também conhecido como ensaio TFOT – Thin Film Oven Test;
- Através do ensaio de efeito de calor e do ar em película delgada rolada, procedimento ASTM D 2872-97, também conhecido como ensaio RTFOT – Rolling Thin Film Oven Test (Kandhal & Chakraborty, 1996); e,
- Através de corpos de prova de mistura asfáltica moldados através da metodologia Marshall, que foram objeto de extração de ligante asfáltico (método B, procedimento ASTM D 2172) e posterior recuperação deste pelo método de Abson (procedimento AASHTO T 170-93).

Os ensaios realizados com os ligantes asfálticos após as três formas de envelhecimento foram os seguintes: a) perda de massa; b) penetração; c) ponto de amolecimento; d) recuperação elástica; e, e) viscosidade dinâmica à temperatura de 155°C.

As principais características físicas e reológicas destes ligantes utilizados na pesquisa são apresentadas no Quadro 1.

**Quadro 1:** Características físicas e reológicas dos ligantes usados na pesquisa

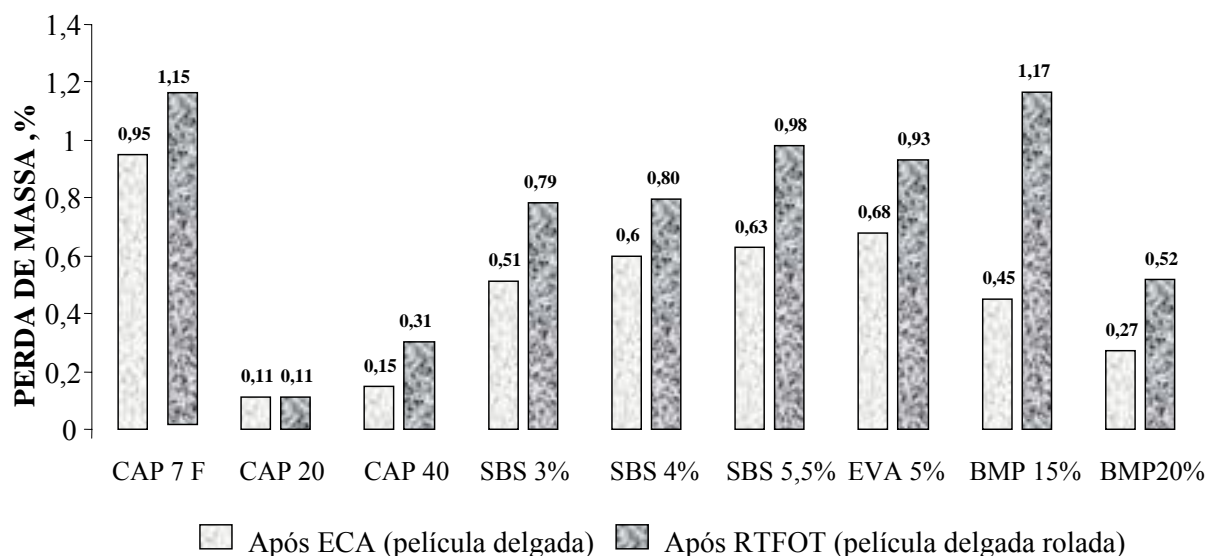
Ensaio	Norma	CAP 7	CAP 20	CAP 40	SBS 3%	SBS 4%	SBS 5,5%	EVA 5%	BMP 15%	BMP 20%
Penetração (100g, 5s, 25°C), 0,1 mm	ASTM D 5	98	57	35	45	38	38	55	40	40
Ponto de Amolecimento, °C	MB 164	44	50	54	53	59	61	53	53	62
Ductilidade (25 °C, 5 cm/min), cm	ASTM D 113	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	86	30
Densidade Relativa 20/4 °C	ASTM D 1298	1,001	1,003	1,004	1,01	1,019	1,025	1,015	1,028	1,037
Ponto de Fulgor, °C	ASTM D 92	288	>300	>300	290	285	290	288	280	280
Índice de Suscetib. Térmica	Pfeiffer-Doormaal	- 1,2	- 0,9	- 1,0	-	-	-	-	-	-
Viscosidade Saybolt Furol, 135°C, SSF	MB 517	141	228	294	-	-	-	-	-	-
Viscosidade Saybolt Furol, 177°C, SSF	MB 517	30	45	54	-	-	-	-	-	-
Viscosidade Brookfield, 135°C, cP	ASTM D 4402	221	316	411	650	1000	1130	1000	960	-
Viscosidade Brookfield, 155°C, cP	ASTM D 4402	97	127	158	251	409	450	422	392	2300
Viscosidade Brookfield, 175°C, cP	ASTM D 4402	50	57	69	117	216	231	195	191	850
Recup.Elástica(20cm, 25°C, 5cm/min), %	DNER 382/99	9	6	4	61	81	88	40	35	55
<b>Estabilidade ao armazenamento (500 ml em estufa à temperatura de 163°C durante 5 dias)</b>										
Ponto de Amolecimento, ≠ topo e fundo, ° C	MB 164	-	-	-	1	1	1	4	4	5
Recup.Elástica(20cm, 25°C, 5cm/min), %	DNER 382/99	-	-	-	60	81	88	39	31	55

### 3. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS SOBRE ENVELHECIMENTO

#### 3.1 Perda de Massa

Observa-se na Figura 1, que as perdas de massa nos ligantes asfálticos originais, CAP 20 e CAP 40, são as menores em porcentagem. Os demais ligantes modificados por polímeros tiveram elevadas perdas de massa muito provavelmente devido à existência em sua formulação de aromáticos, no caso agente rejuvenescedor, utilizado para permitir a

compatibilidade entre o asfalto cru e cada tipo de polímero. Esta perda de massa superior dos ligantes fluxados indica uma maior volatilização deste componente durante os ensaios, em comparação com os ligantes asfálticos originais não fluxados. A perda de massa dos ligantes modificados é compensada, em termos de seu comportamento, pela presença de polímeros que melhorarão outras características do ligante asfáltico. De qualquer forma, pode-se constatar que a perda de massa após RTFOT é superior a perda de massa obtida após TFOT.



**Figura 1:** Análise de perda de massa em ensaios de laboratório

### 3.2 Penetração

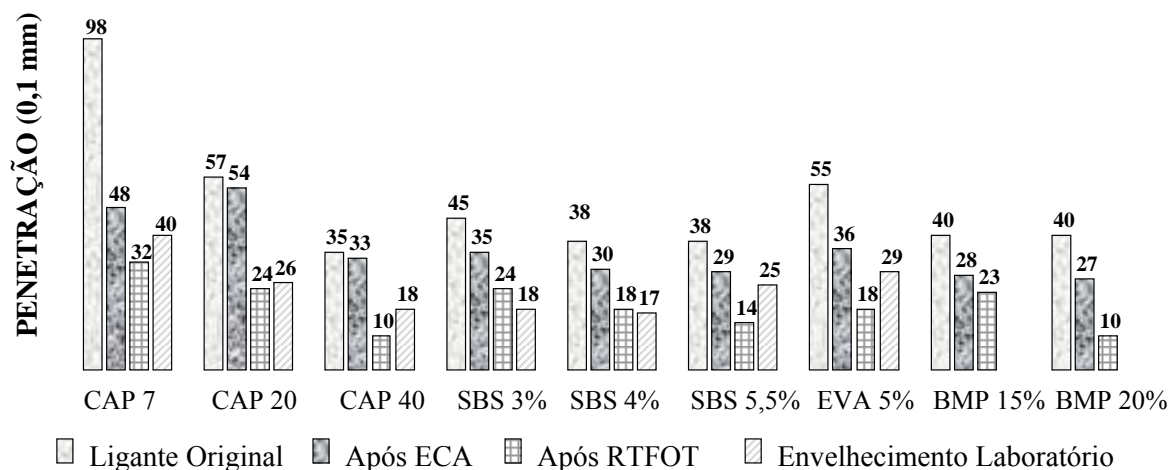
Observou-se, como apresentado na Figura 2, claramente o seguinte padrão nesta análise: a redução da penetração de todos os ligantes asfálticos, sendo que esta redução da penetração foi sempre maior no ensaio RTFOT do que aquela obtida no ensaio ECA. Na análise da penetração realizada com ligante asfáltico recuperado de corpo-de-prova moldado pelo método Marshall, a redução de penetração observada está muito próxima dos valores obtidos por meio do ensaio RTFOT com o ligante original.

### 3.3 Ponto de Amolecimento

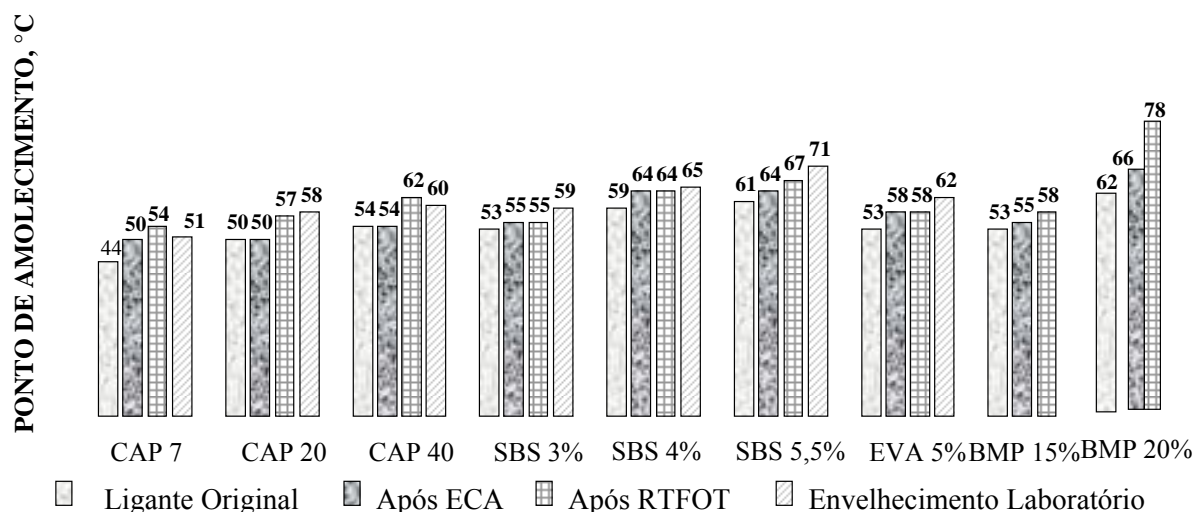
A Figura 3 apresenta os resultados da análise do ponto de amolecimento após os ensaios ECA e RTFOT e do ligante asfáltico recuperado de extração de corpos-de-prova Marshall moldados em laboratório.

Constatou-se um aumento do ponto de amolecimento mais severo no ensaio RTFOT. No caso dos ligantes asfálticos modificados por polímero SBS, constatou-se o aumento do ponto de amolecimento nos ensaios de envelhecimento, ao invés da redução citada por Leite (1999).

O valor do ponto de amolecimento observado nos ligantes asfálticos recuperados após moldagem dos corpos-de-prova Marshall foi elevado e isto pode evidenciar a severidade do envelhecimento do ligante asfáltico que ocorre na moldagem dos corpos-de-prova Marshall.



**Figura 2:** Análise da penetração dos ligantes asfálticos em diferentes situações de laboratório

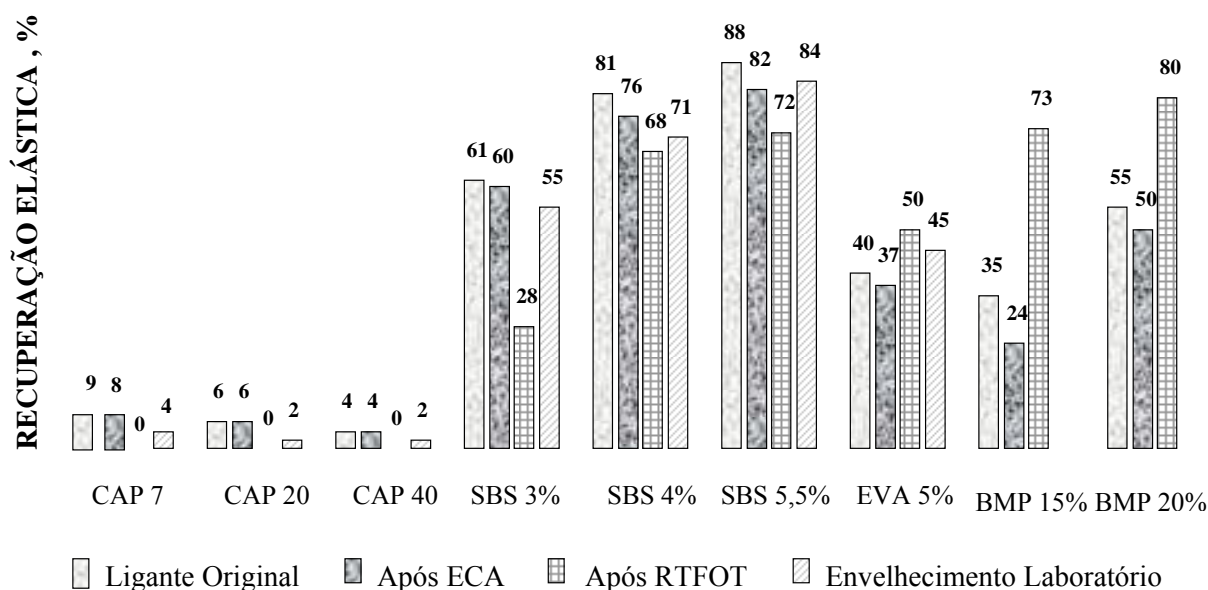


**Figura 3:** Análise do ponto de amolecimento dos ligantes asfálticos em diferentes

### 3.4 Recuperação Elástica

Os resultados das análises de recuperação elástica, após os ensaios ECA e RTFOT e do ligante asfáltico recuperado de extração de corpos de prova Marshall moldados em laboratório obtidos, são apresentados na Figura 4.

A recuperação elástica dos ligantes tradicionais CAP 20 e CAP 40, e mesmo do CAP 7, são muito pequenas comparativamente a dos ligantes asfálticos modificados originais. Os ligantes modificados por SBS, independentemente do teor de polímeros, apresentaram uma queda dessa característica em todos os métodos de simulação de envelhecimento utilizados. Isto já foi citado por Leite (1999), que ressalta que os ligantes modificados por SBS não apresentam boa resistência ao envelhecimento. A baixa resistência se deve à quebra das ligações duplas do polibutadieno, presentes no SBS, e à redução do tamanho das moléculas de SBS.



**Figura 4:** Análise da Recuperação elástica dos ligantes asfálticos em diferentes situações

Em consequência, o produto diminui a elasticidade. A redução da recuperação elástica desses ligantes asfálticos, no ensaio RTFOT, por exemplo, foi de 16 a 54% em relação à recuperação elástica do ligante asfáltico original. No entanto, apesar dessa redução observada, a recuperação elástica resultante é ainda muito maior que a recuperação observada nos ligantes asfálticos não modificados, que praticamente não possuem essa propriedade após o ensaio RTFOT.

O ligante modificado por EVA apresentou um comportamento diferente dos ligantes até aqui distinguidos, pois, em dois ensaios de envelhecimento, os mais severos (RTFOT e recuperação de ligante asfáltico extraído de corpo-de-prova Marshall), ocorreu um aumento de recuperação elástica, de 40 para 50% no RTFOT e de 40 para 45% no envelhecimento propiciado pelo Marshall. Segundo Leite (1999), este comportamento se deve, possivelmente, a não existência de ligações duplas nas suas moléculas e por isso, os ligantes asfálticos modificados por EVA apresentam excelente resistência ao envelhecimento, mantendo boa resistência à deformação permanente, mesmo após o envelhecimento no ensaio RTFOT. A elasticidade apresentada por algumas formulações com EVA, expressa em termos de ângulo de fase é, em alguns casos, superior a dos ligantes modificados por SBS. Nos estudos de LEITE (1999), foi constatada a diminuição do ângulo de fase em amostras com EVA antes e depois do envelhecimento revelando, conseqüentemente, ganho de elasticidade ao invés de perda como observado nos ligantes modificados por SBS.

Os dois ligantes modificados por borracha de pneus, tiveram um aumento significativo na recuperação elástica após o ensaio RTFOT. Sendo 108% no ligante modificado por 15% de BMP e de 45% no ligante modificado por 20% de BMP. Este fato pode ser devido a severidade do ensaio RTFOT, que expõe o ligante asfáltico, por meio da formação de uma fina película, a um aquecimento maior, colaborando para ocorrer uma maior interação entre as moléculas de borracha e de ligante asfáltico, o que pode proporcionar uma continuação do processo de fusão, melhorando conseqüentemente a recuperação elástica. Este fenômeno

também pode ser consequência do tipo de borracha moída de pneu utilizado na modificação do ligante asfáltico. Muito provavelmente, este fenômeno também deve ocorrer durante a usinagem no campo, proporcionando uma mistura asfáltica mais flexível mesmo após a oxidação que ocorre em todo o processo de fabricação e aplicação da massa asfáltica.

### **3.5 Viscosidade Dinâmica**

A Figura 5 apresenta o resultado da análise de viscosidade dinâmica (em cP) após os ensaios ECA e RTFOT e com ligante asfáltico recuperado de extração de corpos-de-prova Marshall moldados em laboratório, na temperatura de 155°C. Da observação desta Figura, pode-se constatar, de forma gráfica, o espectro de aumento das viscosidades dos ligantes asfálticos após as formas de envelhecimento realizadas, sendo importante ressaltar também, a diferença entre as viscosidades dos diferentes tipos de ligantes asfálticos pesquisados. Como exemplo, cita-se a maior viscosidade dos ligantes modificados por borracha moída de pneus que é muito superior a de todos os demais ligantes asfálticos. Esta é uma característica própria dos ligantes modificados por BMP e não significa aumento de rigidez do ligante asfáltico.

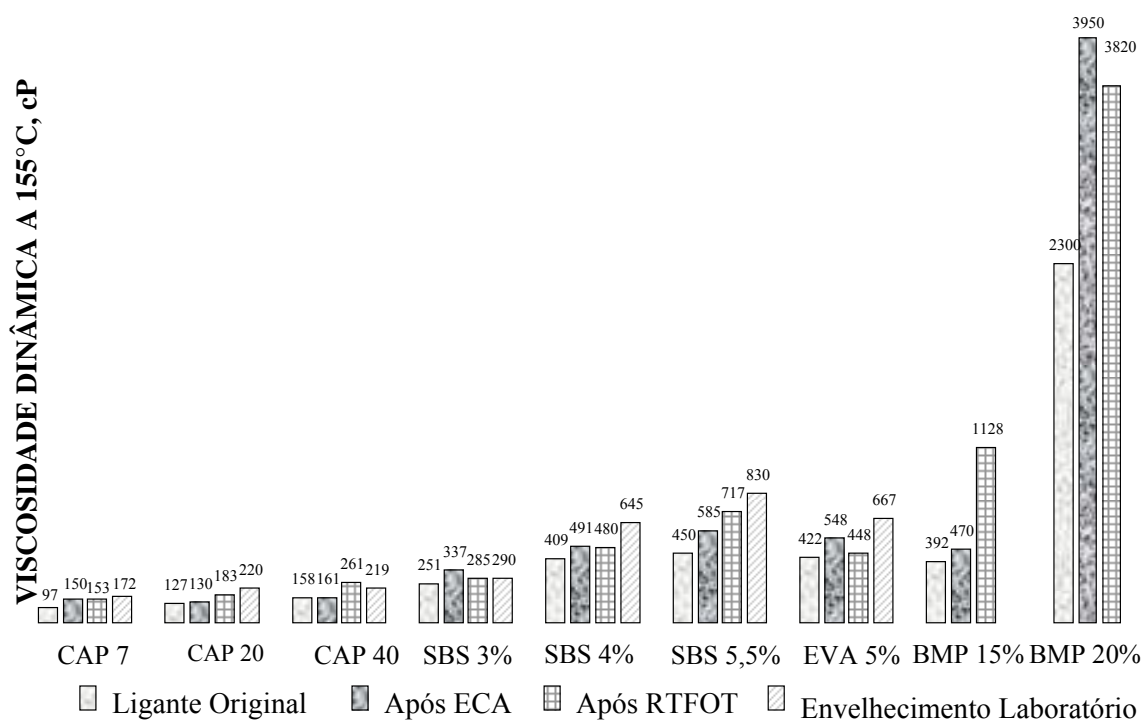
As viscosidades apresentadas na Figura 5 foram obtidas por meio do Viscosímetro Brookfield, com spindle 21, com RPM entre 20 e 100 e torque entre 10 e 95% (ASTM D - 4402). O aquecimento foi mantido com precisão de 0,1°C, por container Thermosel. A Figura 5 apresenta a Viscosidade Dinâmica compara essa grandeza entre ligantes modificados por polímeros ou BMP que podem apresentar comportamento não newtoniano com ligantes asfálticos tradicionais de comportamento claramente newtoniano (onde a viscosidade não varia com a taxa de cisalhamento). Normalmente, nesse tipo de estudo deve-se manter o mesmo spindle e a mesma rotação para poder garantir a mesma taxa de cisalhamento. Nesta pesquisa, foi mantido o mesmo spindle, mas foi necessário alterar a rotação de modo a manter o torque entre 5 e 95%, exigido pelo método ASTM D 4402 e, em consequência, alterou-se um pouco a taxa de cisalhamento.

Esta simplificação adotada, para apresentar a comparação entre as viscosidades não é perfeita, mas permite, qualitativamente, que se observe o espectro da magnitude dos valores de viscosidade dos diferentes ligantes asfálticos bem como o efeito do envelhecimento simulado sobre estes ligantes.

O ensaio realizado através da ASTM D - 4402 não é o mais apropriado para medição de viscosidade de ligantes modificados por borracha moída de pneus, já que estes devem ser avaliados pelo método ASTM D - 2196. No entanto, como efeito comparativo de visualização dessas viscosidades, crê-se ser válida a simplificação realizada.

## **4. ENSAIOS DE COMPORTAMENTO MECÂNICO**

Para avaliar a influência dos modificadores de ligantes no comportamento mecânico de misturas asfálticas, inicialmente foram definidos os teores de ligantes de projeto das misturas através do procedimento Marshall. O agregado empregado foi um granito e a faixa granulométrica utilizada foi a faixa III do Departamento de Estradas de Rodagem do Estado do Paraná que tem origem na faixa IV-b do Instituto do Asfalto. A composição básica dos agregados foi a seguinte:



**Figura 5:** Análise de viscosidade à temperatura de 155°C dos ligantes asfálticos em diferentes situações

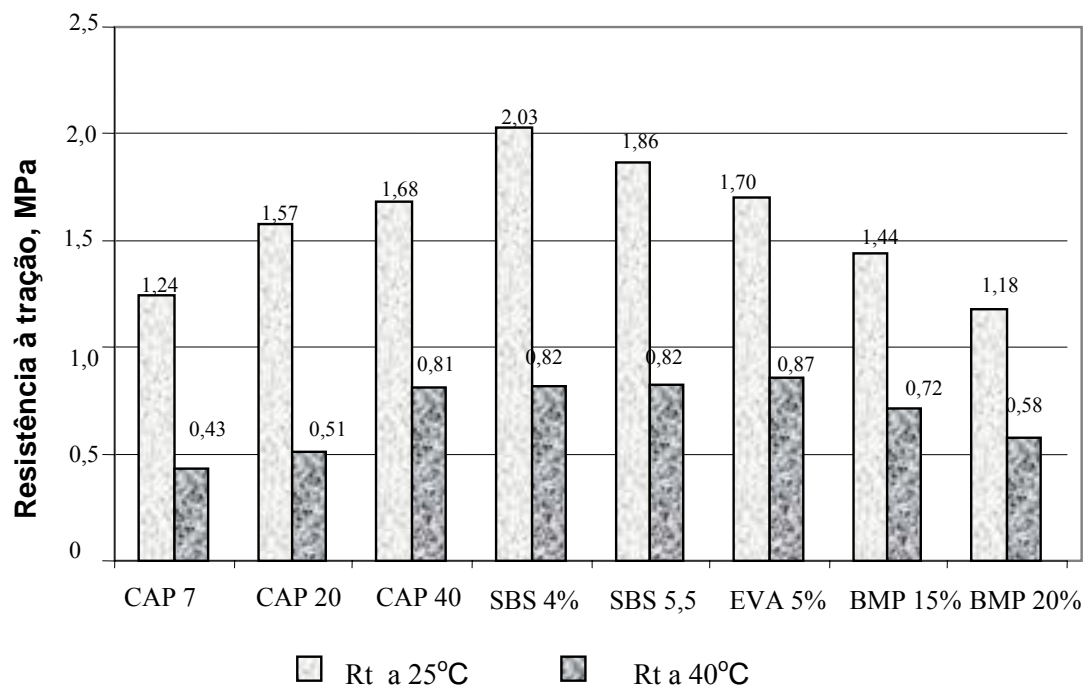
- 30% de agregados entre as # 3/4” e 3/8”;
- 13% de agregados entre as # 3/8” e 4;
- 55% de agregados entre as # 4 ao fundo; e,
- 2% de cal hidratada.

Os resultados da dosagem das misturas estão apresentadas no Quadro 2. Na sequência, para o teor de ligante de projeto de cada misturas foram moldados corpos-de-prova para determinação da resistência à tração ensaios de módulo de resiliência, ambos no ensaio diametral, em duas diferentes temperaturas: de 25° e 40°C. A Figura 6 apresenta os resultados de resistência à tração e a Figura 7, os resultados de módulo de resiliência.

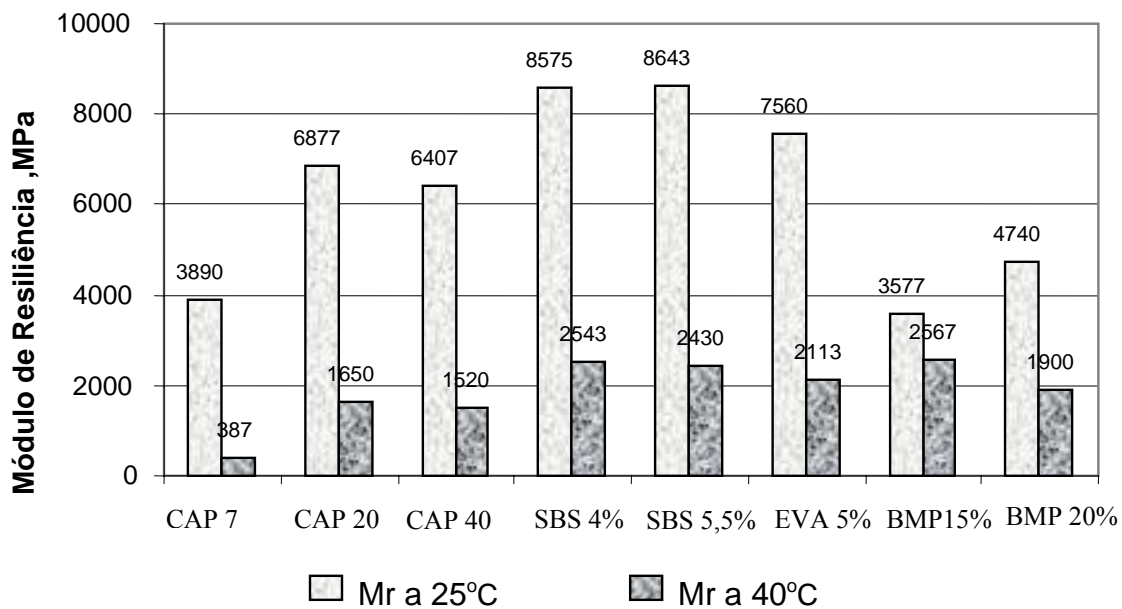
**Quadro 2:** Resultados dos ensaios de dosagem das misturas

Características	CAP 7	CAP 20	CAP 40	SBS 4%	SBS 5,5%	EVA 15%	BMP 15%	BMP 20%
Temperatura do ligante, °C	153	158	158	165	165	165	170	170
Teor de Ligante, %	5,3	5,2	5,4	5,5	5,9	5,6	6,5	7,6
Massa Específica Aparente, kN/m <sup>3</sup>	23,23	23,24	23,17	23,17	23,05	23,16	23,18	22,69
Porcentagem de vazios,%	3,7	3,7	3,8	3,8	3,9	3,7	3,8	3,4
Relação Betume Vazios, %	76,4	76,1	76,5	76,6	76,9	77,0	76,6	81,6
Vazios Agregado Mineral, %	15,6	15,5	15,9	16,0	16,7	16,1	16,0	21,9
Fluência, mm	1,77	2,15	1,96	1,90	2,72	3,15	2,70	3,88
Estabilidade, KN	16,3	17,1	17,9	15,1	15,1	15,5	16,6	14,6





**Figura 6:** Resultados de Resistência à tração diametral.



**Figura 7:** Módulo de Resiliência das misturas confeccionadas com os diferentes ligantes

## 5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O aumento de consistência dos ligantes asfálticos observado nos ensaios realizados caracterizam o seguinte comportamento após o envelhecimento em laboratório:

- a) O envelhecimento do ligante asfáltico obtido por meio de recuperação de ligante extraído de corpos-de-prova Marshall moldados em laboratório, apesar de algumas distorções, mostrou-se, de uma forma geral, muito próximo da severidade alcançada com o RTFOT;
- b) De uma forma geral, todos os ligantes asfálticos envelhecidos em laboratório, apresentaram redução na penetração, aumento do ponto de amolecimento, aumento da viscosidade e redução na recuperação elástica (CAP 7, CAP 20, CAP 40, SBS 3%, SBS 4% e SBS 5,5%);
- c) Ocorreu aumento na recuperação elástica, após RTFOT e ensaio simulado de laboratório pós-moldagem de corpos-de-prova Marshall, dos ligantes asfálticos EVA 5%, BMP 15% e AM BMP 20%. Este aumento pode ser debitado, no caso do polímero EVA, a não existência de ligações duplas em suas moléculas, que faz com que os ligantes asfálticos modificados por EVA apresentem excelente resistência ao envelhecimento. Já com relação ao aumento da recuperação elástica após RTFOT do ligante asfáltico modificado por borracha moída de pneus, deve-se, provavelmente, ao fato de que ocorre durante o ensaio RTFOT uma maior interação entre as moléculas de borracha e do ligante asfáltico, o que proporcionaria uma continuação do processo de fusão e melhorando assim o comportamento elástico deste ligante;
- d) O ligante modificado por EVA apresentou um excelente comportamento frente ao envelhecimento, traduzido pelo aumento da sua recuperação elástica após RTFOT e também pelo baixo aumento de consistência observado em termos de viscosidade, comparativamente aos demais ligantes asfálticos; e,
- e) Os dois ligantes asfálticos modificados por BMP também apresentaram um excelente comportamento frente ao envelhecimento, traduzido pelo aumento de recuperação elástica após RTFOT e também pela menor redução de penetração de todos os ligantes asfálticos após RTFOT (caso do ligante BMP 15%). O aumento de consistência observado, em termos de viscosidade, já era esperado, e não deve ser considerado como sinônimo de aumento da rigidez do ligante asfáltico, pois a ação da borracha no ligante, após envelhecimento, propicia um aumento na recuperação elástica, tornando o ligante asfáltico e por consequência a mistura asfáltica, mais dúctil e elástica. Adicionalmente, segundo Wyngaard (2003), o envelhecimento do ligante modificado por BMP é restringido pela ação da borracha moída que absorve os aromáticos e saturados presentes no ligante asfáltico. Além disso, cercados pela BMP, os asfaltenos e as resinas do ligante asfáltico ficam protegidos contra a oxidação.

Em relação aos resultados de resistência à tração e módulo resiliente constatou-se que:

- a) Para temperatura de 25°C, os maiores valores de resistência à tração foram observados nas misturas confeccionadas com ligantes modificados por SBS, seguida pelas misturas confeccionadas com ligantes modificados com EVA. Para temperatura de 40°C, há uma queda de cerca de 50% da resistência à tração, sendo observada nesta temperatura, uma maior homogeneidade entre as resistências para os diferentes ligantes;
- b) Na temperatura de 25°C, os maiores valores de módulo de resiliência foram obtidos com misturas confeccionadas com ligantes modificados por SBS, seguida pelas misturas confeccionadas com ligantes modificados com EVA. Estes resultados indicam que estes tipos de misturas poderiam apresentar uma maior resistência à formação de trilha de roda. Entretanto, poderá haver um comprometimento quanto à fadiga das misturas;

- c) Para temperatura de 40°C, há uma queda significativa do módulo de resiliência das misturas, notadamente para as misturas confeccionadas com ligantes convencionais e para as misturas com SBS e EVA. As misturas confeccionadas com ligante modificado por BMP, apresentaram menores valores de módulos resilientes temperatura de 25°C. Entretanto, para temperatura de 40°C, o módulo resiliente manteve-se no mesmo nível das demais misturas confeccionadas com ligantes modificados, ou até ligeiramente superior no caso do BPM 15%; e,
- d) A tendência de comportamento apresentada indica que as misturas confeccionadas com ligantes modificados com BPM poderão ter um desempenho melhor quanto à formação de trilhas de roda em um país de clima tropical como o Brasil. Ao mesmo tempo, a recuperação elástica mostrada pelo ligante juntamente com valores modulares não tão elevados a baixas temperaturas, poderão conduzir a misturas com melhor desempenho quanto à fadiga.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Empresa Greca Asfaltos pelo financiamento parcial da pesquisa, ao Instituto Brasileiro de Pesquisas Rodoviárias e ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal de Santa Catarina e ao Laboratório de Pavimentação e ao Laboratório de Pavimentação da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Brock, J.D., 1996 Boletín Técnico T – 103 S – Oxidación Del Asfalto. Astec Industries, Inc, EUA.
- DNER, 1998 *Pesquisa de Asfaltos Modificados por Polímeros – Relatório Final* Tomo I e II, Rio de Janeiro/RJ.
- Faxina, A.L., 2002 Estudo em Laboratório do Desempenho de Concreto Asfáltico Usinado a Quente Empregando Ligante Tipo Asfalto-Borracha. *Dissertação de Mestrado*, EESC/USP, São Carlos/SP.
- Fonseca, O.A., 1998 Dynmas - Um Sistema Computadorizado para a Análise do Módulo Dinâmico de Misturas Asfálticas Envelhecidas “In Situ”. *Anais da 31ª Reunião Anual de Pavimentação*, São Paulo, SP.
- Kandhal, P.S., Chakraborty, S., 1996 Effect of Asphalt Film Thickness on Short and LongTerm Aging of Asphalt Paving Mixtures. *Transportation Research Record* 1535, Washington, DC.
- Leite, L.F.M., 1999 Estudos de Preparo e Caracterização de Asfaltos Modificados Por Polímero. *Tese de Doutorado*, UFRJ, Rio de Janeiro/RJ.
- Leite, L.F.M., Constantino, R.S., Ribeiro, A.C., 2002 Comparação das Características dos Cimentos Asfálticos Brasileiros Com as Constantes do Banco de Dados MRL do Programa SHRP Para Ligantes Asfálticos. *Anais da 11ª Reunião de Pavimentação Urbana*, Porto Alegre/RS.
- Lucena, M.C., Soares, S.A., Soares, J.B., Leite, L.F.M., 2002 Estudo Reológico de Asfaltos Modificados Por SBS. *Anais da 16ª Encontro de Asfalto do Instituto Brasileiro de Petróleo*, Rio de Janeiro/RJ.
- Morilha Jr., A., 2004 Estudo sobre a Ação de Modificadores no Envelhecimento dos Ligantes Asfálticos e nas Propriedades Mecânicas e de Fadiga das Misturas Asfálticas. *Dissertação de Mestrado*, UFSC, Florianópolis/SC.
- Tonial, I.A., 2001 Influência do Envelhecimento do Revestimento Asfáltico na Vida de Fadiga de Pavimentos. *Tese de M.Sc.*, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro/RJ.
- Whiteoak, D., 1990 *SHELL Bitumen Handbook*. SHELL, Inglaterra.
- Wyngaard, W.A., 2003 Design Method for Bitumen Rubber Single Stone Seals. *Proceedings of the Asphalt Rubber 2003 Conference*, Brasília, Brasil.

1 Prof. da Universidade Federal de Santa Catarina, e-mail: [ecv1gttri@ecv.ufsc.br](mailto:ecv1gttri@ecv.ufsc.br)

2 Diretor Técnico da GRECA Asfaltos S/A e-mail: [amorilha@uol.com.br](mailto:amorilha@uol.com.br).