

# ESTUDO DA ESTABILIDADE DE ESTOCAGEM DE CAP 50/70 MODIFICADO COM BORRACHA MOÍDA DE PNEU<sup>1</sup>

Johnny Gilberto Moraes Coelho<sup>2</sup>  
José Antônio da Silva Souza<sup>3</sup>  
Carmen Gilda Barroso Tavares Dias<sup>4</sup>

## Resumo

Neste trabalho, foi utilizado um ligante cimento asfáltico de petróleo (CAP) acrescido com borracha moída de pneu 80/20 p/p. Para análise de estabilidade à estocagem, as amostras foram armazenadas em um cilindro de alumínio, dimensões 23 mm de diâmetro e 108,12 mm de altura, a 180°C por 24 horas e 48 horas. Em seguida foi feita a reologia de ligante e ligante modificado da parte superior e inferior das amostras após 24 horas, o reômetro utilizado foi de placas paralelas e *gap* de 15 mm. Foram plotados reogramas de módulo complexo ( $G^*$ ) e ângulo de fase ( $\delta$ ) a varredura de frequência de 0,01 Hz-100 Hz a 120°C. Os resultados indicam o ganho de rigidez dos materiais nos reogramas analisados, devido a precipitação em consequência da instabilidade das partículas não dissolvidas, que leva a um aumento no módulo elástico das amostras colhidas no fundo do recipiente. Observou-se uma diminuição acentuada dos valores de ângulo de fase  $\delta$  indicando melhoria das respostas elásticas.

**Palavras-chave:** Reologia; Ligante modificado; Módulo complexo; Ângulo de fase.

## STUDY OF STORAGE-STABILITY OF CAP 50/70 MODIFIED WITH GROUND TIRE RUBBER

### Abstract

In this work the asphalt binder was used CAP 50/70 to penetration 80% w/w plus ground tire rubber with 20% w/w. The order of addition of components may impair the quality of the final product, we adopted a random sequence of addition of components in the quantities set, CAP 50/70 with ground tire rubber. For storage-stability, the samples were stored in a cylinder of aluminum 23 mm in size and 108.12 mm diameter high at 180°C for 24 hours and 48 hours. It was then made the rheology of the binder and the binder modificado top and bottom of the samples after 24 hours, the rheometer was used type Haake RS6000, plate to plate and gap of 15 mm, complex modulus ( $G^*$ ) and the phase angle ( $\delta$ ) scan frequency of 0.01 Hz to 100 Hz at 120°C. The results indicate the stiffness of the material gain in the isotherms analyzed, due to precipitation as a result of instability of the undissolved particles, which leads to an increase in elastic modulus of samples collected at the bottom of the container. There was a marked decrease in  $\delta$  values indicating improved elastic response.

**Key words:** Rheology; Asphalt modified; Complex modulus; Phase angle.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 67º Congresso ABM - Internacional, 31 de julho a 3 de agosto de 2012, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

<sup>2</sup> Eng. Civil, Mestrando em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Pará (UFPA), Brasil; johnny@ufpa.com.

<sup>3</sup> Eng. Químico, Professor do Proderma, UFPA, Brasil; jass@ufpa.br.

<sup>4</sup> Eng. Química, Professora do PPGEM, UFPA, Brasil; cgbtd@ufpa.br.

## 5 1 INTRODUÇÃO

O uso de asfaltos modificados por polímeros são uma ótima opção para a melhoria do desempenho dos pavimentos e vem sendo amplamente utilizado.

A morfologia e formação da rede polimérica no asfalto influem de forma significativa nas propriedades físicas do ligante. Se o polímero estiver simplesmente disperso ele tende a separar. Devido à fraca compatibilidade entre polímeros SBS e o asfalto, por exemplo, a estabilidade a estocagem do asfalto modificado com SBS a elevada temperatura pode ser comprometida. Mas com a adição de ácido metacrílico grafitizado em SBS, segundo Fu et al.,<sup>(1)</sup> torna vantajoso o desempenho do aglutinante modificado a alta temperatura e reduzir sua suscetibilidade a temperatura.

Fissuras por fadiga ocorrem durante toda a vida útil do pavimento e normalmente resulta em severos danos a estrutura do mesmo. As fissuras térmicas são causadas pela exposição do pavimento a um simples ciclo de temperatura onde a temperatura atinge a temperatura mínima crítica ou a diversos ciclos em que a temperatura inferior é superior a temperatura mínima crítica, ocorrendo normalmente em direção perpendicular ao tráfego.

Do ponto de vista ambiental e econômico, o uso de borracha de resíduos de pneus (B) para substituir polímeros virgens é o método de reciclagem mais preferencial, resultando uma maior poupança de custos, menor consumo de energia e menor poluição ambiental. Além da borracha (B) melhorar a resistência à deformação permanente ou afundamento, em altas temperaturas de serviço, também aumenta a resistência ao fissuramento térmico, aumentando a flexibilidade do betume, a baixas temperaturas. A viscosidade de A/B, em uma faixa de temperatura compreendida entre 50°C-163°C, aumenta com o tamanho de partículas de B inserida e é claramente mais viscoso do que o betume correspondente puro e processado. Além disso, segundo Navarro et al.<sup>(2)</sup> e Wen et al.,<sup>(3)</sup> betumes modificados são mais não-newtonianos como aumento da temperatura e do tamanho de partícula.

O objetivo deste trabalho é estudar estabilidade de asfalto e de asfalto modificado durante a fase de estocagem à 120°C.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O ligante asfáltico utilizado foi o CAP 50/70 (A) produzido pela Petrobras (Lubnor),<sup>(4)</sup> modificado com borracha moída de pneu (B), passante na peneira de malha quadrada nº 80.

O ligante asfáltico foi aquecido a 180°C e depois foi inserida a borracha reciclada passante em peneira de malha nº 80, a mistura foi feita manualmente, obteve-se o composto A/B (dosagem 80/20, porcentagem em peso).

Em seguida foi feita a reologia de ligante e ligante modificado da parte superior e inferior das amostras estocadas em um tubo de alumínio (com 23 mm de diâmetro e 108,12 mm de altura) após 24 horas e 48 horas para teste de estabilidade à estocagem. O reômetro utilizado foi do tipo Haake RS6000, placa/placa, gap de 15 mm, foram obtidos resultados referente ao modulo complexo ( $G^*$ ) e ângulo de fase ( $\delta$ ) em varredura de frequência de 0,01 Hz-100 Hz a 120°C.

O módulo complexo é definido como a razão entre a tensão máxima (de cisalhamento) para máxima deformação, fornecendo uma medida da resistência total à deformação quando o asfalto é submetido a uma carga de cisalhamento.

O ângulo de fase, definido acima como a diferença de fase entre tensão e deformação em um teste oscilatório, é uma medida do equilíbrio do comportamento viscoelástico de materiais. Se  $\delta$  é igual a  $90^\circ$ , o material betuminoso pode ser considerado puramente viscoso na natureza, enquanto que  $0^\circ$  corresponde a um comportamento puramente elástico. Entre esses dois extremos do comportamento do material podem ser considerados viscoelásticos na natureza com uma combinação de respostas viscosa e elástica.<sup>(1)</sup> Um alto valor do módulo complexo representará maior rigidez enquanto que um menor ângulo de fase representará uma maior resposta elástica.<sup>(5)</sup>

Para ensaio de reologia foram feitas dosagens como mostra a Tabela 1, tem-se a proporção de A e B.

**Tabela 1.** Dosagens para ensaio de reologia em porcentagem de material (%)

%	R1	R2
A	100	80
B	-	20

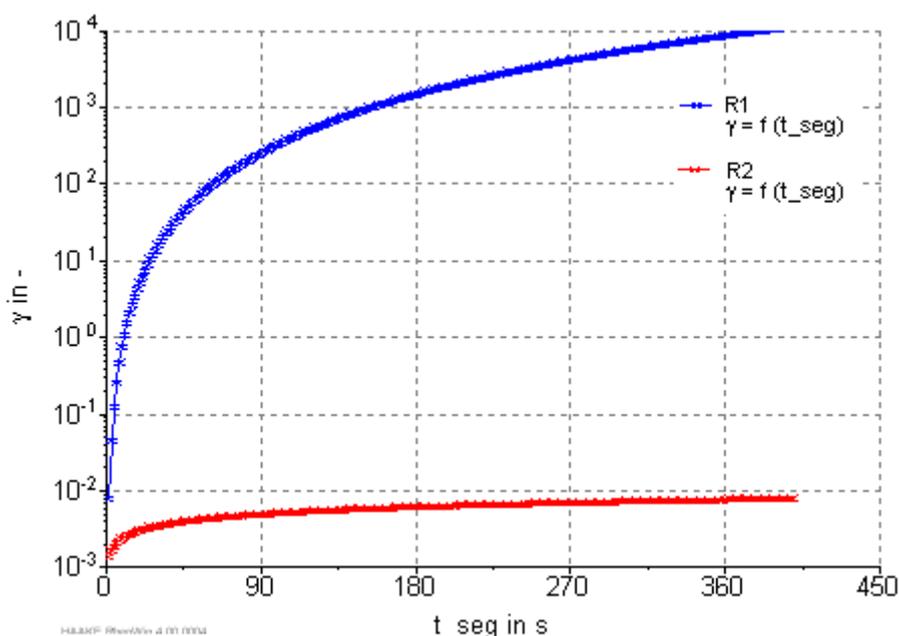
Os índices de estabilidade a estocagem (Is) foram calculados através da Equação 1.

$$I_s = \log [G^*(\text{fundo})/G^*(\text{topo})] \quad (1)$$

Onde Is é definido como o índice de separação,  $G^*$  (fundo) é o módulo complexo da parte inferior da amostra estocada e  $G^*$  do topo é o módulo complexo da parte superior. Valores de Is iguais ou próximos de zero indicam uma pequena tendência à separação de fases durante a estocagem.<sup>(6)</sup>

### 3 RESULTADOS E DICUSSÃO

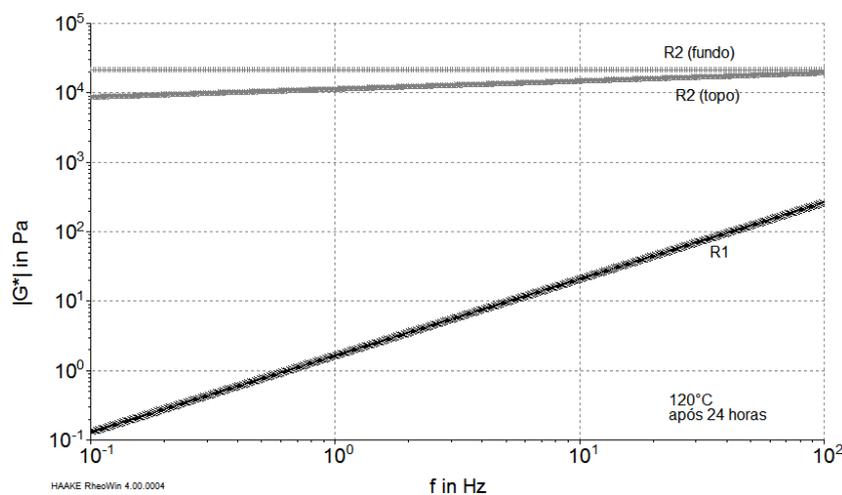
As curvas de deformação em função do tempo foram obtidas de acordo com o modelo matemático lei das potências.



As curvas do módulo de rigidez e do ângulo de fase foram obtidas de acordo com o modelo matemático lei das potências para facilitar a avaliação dos dados obtidos.

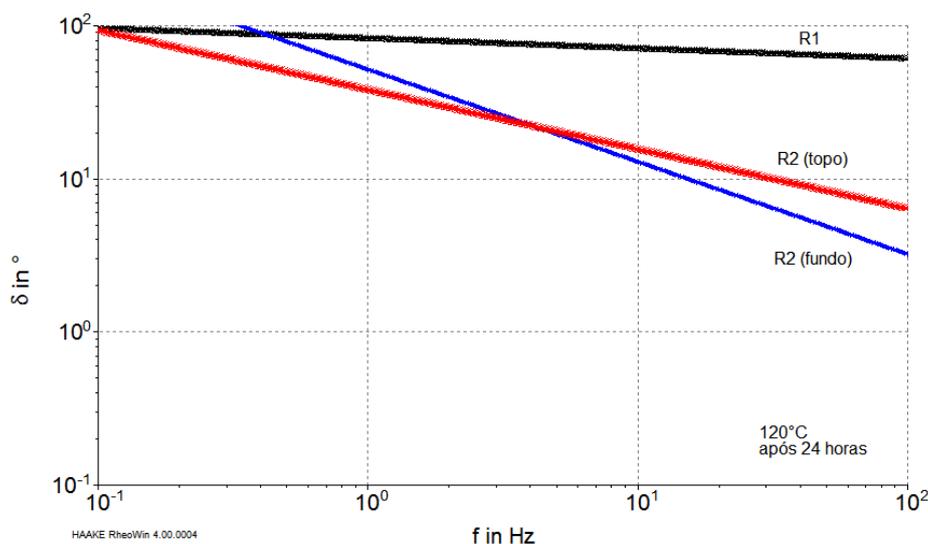
Na Figura 2, estão os resultados do módulo de rigidez de amostra de A e A/B após 24 horas. No geral, o módulo de rigidez do fundo praticamente constante e um leve acréscimo no módulo de rigidez do topo. Igualou-se a amostras do topo a aproximadamente 100 Hz. Observa-se que ocorreu separação de fases para a amostra de asfalto e A/B de  $10^{-1}$  a  $10^1$  Hz (Figura 2), uma vez que as fases topo e fundo diferiram em suas propriedades reológicas, provavelmente devido ao fato de a fase do topo estar mais rica em polímero e a fase do fundo podendo estar mais rica em asfaltenos.<sup>(6)</sup>

Observa-se também a instabilidade das partículas não dissolvidas de resíduo de borracha, que leva a um aumento no módulo elástico de amostras colhidas no fundo do recipiente.<sup>(7)</sup>



**Figura 2.** Módulo de rigidez de A e A/B após 24 horas a 120°C.

Na Figura 3, estão os resultados do ângulo de fase de A e A/B após 24 horas do topo e fundo, na qual se igualam em frequência na fase de processamento, em aproximadamente 6 Hz. As amostras do fundo apresentaram um comportamento mais elástico a partir de 6 Hz comparado com as amostras do topo.



**Figura 3.** Ângulo de fase de A e A/B após 24 horas a 120°C.

Na Figura 4 os módulos de rigidez após 48 horas, todas as amostras de A e A/B testadas após 48 horas. Os módulos de rigidez diminuem com o aumento da

frequência. Nas amostras do fundo, houve um decréscimo da rigidez e igualou-se a amostras do topo a aproximadamente  $10^2$  Hz. Devido o tempo de precipitação ser maior à temperatura constante, os módulos complexos das fases do topo e do fundo não diferiram consideravelmente após o processo de estocagem, de  $10^{-1}$  a  $10^1$  Hz, o mesmo descrevem Rodrigues et al.<sup>(8)</sup> Isso significa que provavelmente houve maior dispersão do polímero durante 48 horas.

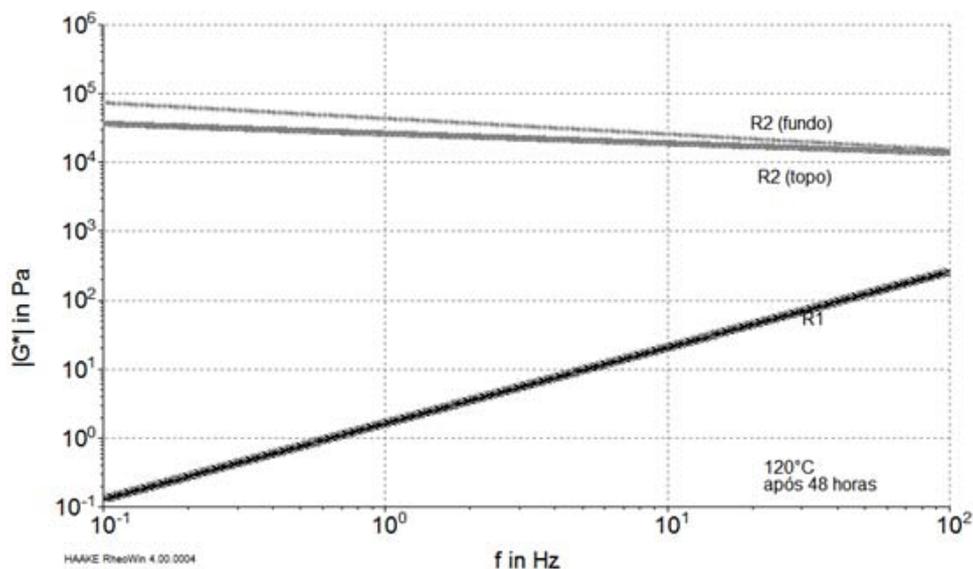


Figura 4. Módulo de rigidez de A e A/B após 48 horas a 120°C.

Na Figura 5, os resultados de ângulo de fase de A e A/B após 48 horas. Todas as amostras testadas a 120°C, podemos observar a inversão de ângulos de fase a partir de 10 Hz, caracterizando um comportamento mais elástico em amostras do fundo do tubo de alumínio retirado após 48 horas.

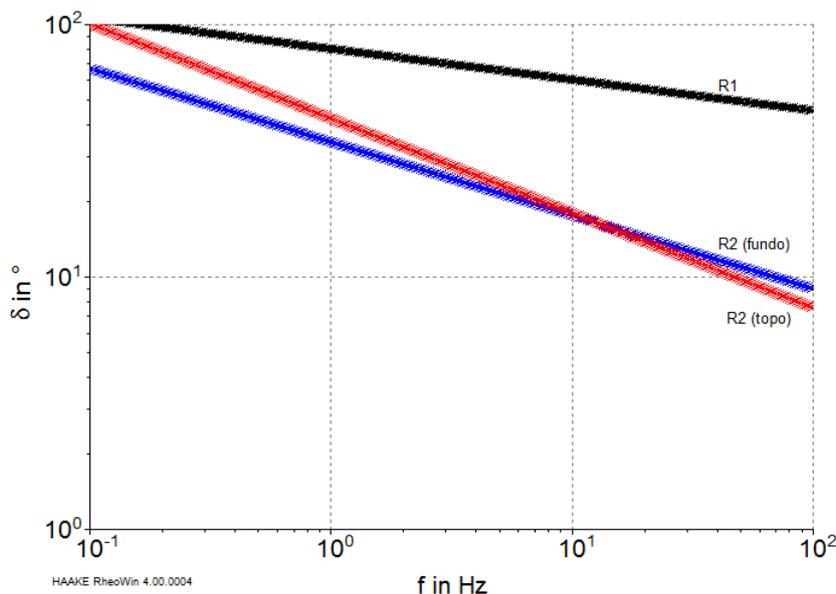


Figura 5. Ângulo de fase de A e A/B após 48 horas a 120°C.

Na Tabela 2 estão representados os resultados de estabilidade a estocagem, calculado a partir do índice  $I_s$ . O aditivo B incorporado no ligante asfáltico atuou como potencial compatibilizante em misturas após 48 horas.

**Tabela 2.** Estabilidade de estocagem de A modificado com B

Amostra	G*(Pa) após 24 horas a 120°C		Is	Amostra	G*(Pa) após 48 horas a 120°C		Is
	Topo	Fundo			Topo	Fundo	
A/B	31949,95	16662,47	-0,28273	A/B	49914,68	31489,28	-0,20007

## 4 CONCLUSÃO

As propriedades reológicas do ligante asfáltico foram melhoradas após adição de B durante 24 horas, observando-se um aumento do módulo complexo e uma diminuição do ângulo de fase (aumento da elasticidade).

O composto B de amostras analisadas após 48 horas, ficou mais disperso no ligante durante o processo de estocagem, auxiliando em uma excelente propriedade de compatibilização no teor utilizado. O composto B quando misturado no ligante asfáltico, possuem excelente propriedades de estocagem a frequência de 10 Hz.

## Agradecimentos

Agradeço ao CNPq e Capes pelo incentivo a pesquisa. Aqueles que trabalham no laboratório de ecompositos da Engenharia Mecânica da UFPA.

## REFERÊNCIAS

- 1 FU, H., LEIDONG, X., DOU, D., LI, L., YU, M.; YAO, S. Storage stability and compatibility of asphalt binder modified by SBS graft copolymer. *Construction and Building Materials*, v. 21, n. 7, p. 1528–1533, 2007.
- 2 NAVARRO, F. J., PARTAL, P., MARTÍNEZ-BOZA, F.; GALLEGOS, C. Thermo-rheological behaviour and storage stability of ground tire rubber-modified bitumens. *Fuel*, v. 83, n. 14-15, p. 2041–2049, 2004.
- 3 WEN, G.; ZHANG, Y.; ZHANG, Y.; SUN, K.; FAN, Y. Rheological characterization of storage-stable SBS-modified asphalts. *Polymer Testing*, v. 21, n. 3, p. 295–302, 2002.
- 4 COELHO, J. G. M. “Estudo da mistura betuminosa para a pavimentação do aeroporto de Conceição do Araguaia no estado do Pará”, IN: CONGRESSO DE PESQUISA E INOVAÇÃO DA REDE NORTE NORDESTE DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA, 4., 2009, Belém, Pará.
- 5 LIMA, A. P. D.; RODRIGUES, F. O.; AMONI, B. C.; NOGUEIRA, R. B. M.; BRINGEL, R. M.; COSTA, F. M. L. L.; SOARES, J. B.; SOARES, S. A.; RICARDO, N. M. P. S. Efeito de aditivos naturais nas propriedades reológicas do ligante asfáltico modificado por SBS, IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE POLÍMEROS, 10., 2009, São Paulo.
- 6 ISACSSON, U.; LU, X., Characterization of bitumens modified with SEBS, EVA and EBA polymers. *Journal of Materials Science*, v. 34, n. 15, p. 3737 – 3745, 1999.
- 7 ALENCAR, A. E. V., FERNANDES, P. R. N., SOARES, S. A.; SOARES, J. B. Estudo da Estabilidade a Estocagem de Ligante Asfáltico modificado com resíduo de copolímero EVA descartado pela indústria calçadista. IN: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE QUÍMICA, 32., 2009, Fortaleza, Ceará.
- 8 Rodrigues, F. O., Alencar, A. E. V., Costa, F. M. L. L., Soares, J. B. and Soares, S. A. Investigação das propriedades reológicas de ligante asfáltico modificado por SBS e EVA com adição de LCC, IN: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE AVALIAÇÃO DE PAVIMENTOS E PROJETOS DE REFORÇO, 4., 2009, Fortaleza, Ceará.