



INTER
FACES
CIENTÍFICAS

EXATAS E TECNOLÓGICAS

ISSN IMPRESSO - 2359-4934

E- ISSN - 2359-4942

DOI - 10.17564/2359-4934.2016v2n2p9-18

ESTUDO DO USO DE BORRA OLEOSA NA MODIFICAÇÃO DE LIGANTE ASFÁLTICO DE PETRÓLEO PARA FINS DE PAVIMENTAÇÃO

Lucas Ferreira Melo Machado¹

Gisélia Cardoso²

RESUMO

O presente trabalho apresenta o comportamento reológico do cimento asfáltico de petróleo (CAP 50/70), no estado puro e modificado, quando do acréscimo de 20% de borra oleosa, visando seu uso em revestimentos de pavimentações. Com o objetivo de caracterizá-los e avaliar os efeitos sobre suas propriedades. Resultados obtidos com o uso do Reômetro de Cisalhamento Dinâmico (Dynamical Shear Rheometer – DSR), em regime oscilatório. Obtendo o resultado de

que a amostra pura é mais resistente e rígida a deformação, possuindo também melhores propriedades.

PALAVRAS-CHAVE

Reômetro de Cisalhamento Dinâmico. Borra Oleosa. CAP 50/70. Reologia. Pavimentação.

RESUMEN

Este artículo presenta el comportamiento reológico de cemento asfáltico bituminoso (AC 50/70), crudo y modificado, cuando hay la adición de 20 % de lodo aceitoso, con el objetivo de su uso en revestimientos de suelo. Con el fin de caracterizarlos y evaluar los efectos sobre sus propiedades. Los resultados obtenidos mediante el reómetro de corte dinámico (Dynamical Shear Rheometer - DSR) en régimen oscilatorio. Obteniendo el resultado de que la muestra pura es

más resistente a la deformación y más rígido y tiene también mejores propiedades.

PALABRAS CLAVE

Reómetro Dinámico de Cizalla. BORRA. AC 50/70. Reología. Pavimentación.

ABSTRACT

This paper presents the rheological behavior of asphaltic oil cement (CAP 50/70), in pure and modified state, when there is the addition of 20% of oily sludge, aiming its use in floor coverings in order to characterize them and evaluate the effects on their properties. Results obtained using the Dynamic Shear Rheometer (Dynamical Shear Rheometer - DSR) in oscillatory regime. Obtaining the result that the pure sample is more resistant and rigid deformation, also having improved properties.

KEYWORDS

Rheometer Shear Dynamic. Oily sludge. CAP 50/70. Rheology. Paving.

1 INTRODUÇÃO

Os ligantes asfálticos devem atender a parâmetros associados às condições das quais os pavimentos serão submetidos (LIMA; SOARES, 2006). Nos pavimentos flexíveis o revestimento é uma mistura asfáltica, constituída de ligante asfáltico e agregados minerais, podendo conter algum tipo de aditivo (FARIAS ET AL., 2011).

O estudo da modificação de ligantes asfálticos no Brasil foi iniciado a partir de 1960, testando ligantes modificados de revestimentos asfálticos em vários estados (AMARAL, 2000).

Nas últimas décadas a frequência de tráfego nos pavimentos teve grande crescimento, aumentando as tensões aplicadas por ele. Criando assim a necessidade do uso de novas tecnologias para avaliar e estudar as propriedades de materiais asfálticos, como por exemplo, os ligantes betuminosos, conhecendo o seu comportamento reológico e garantindo uma pavimentação com técnicas seguras e duráveis (LIMA; SOARES, 2006).

Os ligantes betuminosos possuem comportamento viscoelástico, ou seja, exibem comportamento elástico e viscoso. Quando há a aplicação de carregamento, se deformam, recuperando-se em parte (pelas propriedades elásticas que possuem) e a mantêm em parte (devido às propriedades viscosas que também possui) (GONZÁLEZ ET AL., 2006; BARROS, 2012).

Devido a esse comportamento, o ensaio executado com o uso do Reômetro de Cisalhamento Dinâmico (Dynamical Shear Rheometer – DSR) analisa a capacidade de esses materiais resistirem a deformações permanentes e à fadiga.

Os ligantes asfálticos têm suas propriedades modificadas (físicas e químicas) com o uso de aditivos, sendo assim é necessário e importante o estudo químico e reológico, visando ter a ideia do futuro

desempenho destes materiais quando da sua aplicação (MORRILHA, 2004).

O ensaio com o reômetro de cisalhamento dinâmico pode ser realizado com o ligante original ou não. Quantifica-se o módulo complexo (G^*) e o ângulo de fase (δ), numa determinada temperatura e frequência, caracterizando o ligante como elástico ou viscoso (BARROS, 2012). Um modificador que pode ser utilizado é a Borra oleosa de petróleo.

A Borra é um resíduo oleoso obtido na exploração e produção de petróleo, no seu tratamento primário, é de difícil destinação e tratamento, sendo na maioria das vezes dispostos em tanques ou em aterros industriais. Seu impacto ambiental pode ser reduzido com o uso de tecnologias que reduzam a sua produção, ou por meio do seu reaproveitamento (reciclagem) (FARIAS ET AL., 2011).

Seu reuso torna-se vantajoso pelas seguintes razões: reutiliza-los reduz seu armazenamento, reduzindo também a demanda por espaço físico no uso de aterros, ou seja, um menor custo para a indústria petrolífera na disposição deste resíduo; além da redução de impactos ambientais, pois quando não destinados corretamente há o grande risco de contaminação do solo e das águas (superficiais e subterrâneas) devido a sua composição química (BUTT ET AL., 2008).

Utilizá-la na modificação de asfaltos é uma ideia que passou a ser estudada apenas recentemente, mas já se conhecem os benefícios, como a redução nos custos de manutenção de rodovias e uma maior resistência à abrasão, envelhecimento e oxidação (FARIAS ET AL., 2011).

Esse estudo tem por objetivo caracterizar e assim analisar o comportamento das propriedades reológicas do ligante asfáltico CAP 50/70 e compará-lo ao

CAP 50/70 com 20% de borra oleosa adicionada, estruturado da seguinte forma: a seção dois apresenta os materiais e método, além do procedimento experimental. Os resultados obtidos são apresentados na seção três e as considerações finais na seção quatro.

2 MATERIAIS E MÉTODO

2.1 MATERIAIS UTILIZADOS

Foram utilizados na produção deste estudo CAP 50/70, cedida pelo município de Aracaju por meio da Usina de Processamento de Asfalto da EMURB, borra oleosa cedida pela PETROBRAS Unidade de Negócio de Exploração e Produção de Sergipe e Alagoas (UN-SEAL).

2.2 EQUIPAMENTO UTILIZADO

Na execução do estudo foram realizados ensaios reológicos com amostras de CAP no estado puro e modificado, num DSR (Figura 1). O equipamento é constituído de uma geometria de placas paralelas, as amostras são inseridas entre elas e conduzidas a um regime oscilatório, examinando assim suas propriedades reológicas.

Figura 1 - Equipamento utilizado para o ensaio DSR, Reômetro de Cisalhamento Dinâmico



Fonte: Barros (2012).

2.3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Os corpos de prova foram produzidos num molde (em silicone), cujas dimensões são as seguintes: 25 mm de diâmetro por 1 mm de espessura, em temperatura de $170\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Os corpos de prova são analisados a uma temperatura de $60\text{ }^{\circ}\text{C}$, visando aferir como se comportam as suas propriedades reológicas.

Sendo as propriedades medidas (em razão da frequência angular):

- Módulos elásticos – G' (também chamados de módulos de armazenamento);
- Módulos viscosos – G'' (módulos de perda);
- Módulos complexos – G^* ;
- Coeficiente de amortecimento – $\tan(\delta)$;
- Resistência ao acúmulo – $|G^*|/\sin(\delta)$;
- Rigidez ao acúmulo – $|G^*|\cdot\sin(\delta)$.

Mediu-se o módulo complexo de cisalhamento (G^*) e o ângulo de fase (δ), onde o corpo de prova é submetido a tensões de cisalhamento oscilatórias, entre duas placas paralelas.

Pode-se relacionar o módulo complexo com a resistência do material e com o ângulo de fase se obtém informações sobre a razão entre a resposta elástica e viscosa durante o processo de cisalhamento.

O módulo complexo (G^*) e o ângulo de fase (δ) são definidos de acordo com a Equação 1:

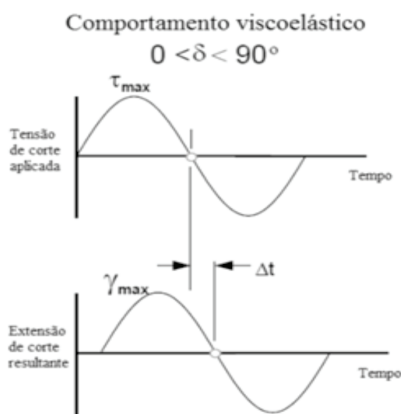
$$G^* = \frac{\tau_{\text{máx}}}{\gamma_{\text{máx}}} \quad \text{e} \quad \delta = \omega \cdot (\Delta t) \quad (1)$$

Onde:

G^* – módulo complexo de cisalhamento;
 δ – ângulo de fase;
 $\tau_{máx}$ – máxima tensão de cisalhamento aplicada;
 $\gamma_{máx}$ – máxima deformação, que ocorre após a tensão de cisalhamento;
 ω – frequência angular;
 Δt – tempo de defasagem.

A Figura 2 mostra um esquema de valores de G^* e δ , no qual a primeira parte representa a tensão aplicada e a segunda a deformação resultante, Δt representa um atraso na deformação obtida, que ao ser multiplicado pela frequência angular obtém-se o ângulo de fase.

Figura 2 – Esboço de gráfico do comportamento de fluido viscoelástico



Fonte: Motta e outros autores (1996).

A partir destes dados podem-se obter outros parâmetros e assim realizar uma análise das propriedades:

Módulo de armazenamento (G') associado à contribuição elástica do material:

$$G' = \frac{\tau_0}{\gamma_0} \cos(\delta)$$

(2)

Módulo de perda (G'') associado à contribuição viscosa do material:

$$G'' = \frac{\tau_0}{\gamma_0} \sin(\delta)$$

(3)

A magnitude do módulo complexo é obtida por:

$$|G^*| = \sqrt{G'^2 + G''^2}$$

(4)

O controle da resistência ao acúmulo e da rigidez ao acúmulo são obtidos por

$G^*/\sin(\delta)$ e por $G^*.\sin(\delta)$, respectivamente (BARROS, 2012).

Outra representação executada neste estudo é a curva de Black, constituída plotando-se o módulo complexo ($|G^*|$) em função do ângulo de fase (δ) (BRINGEL ET AL., 2008).

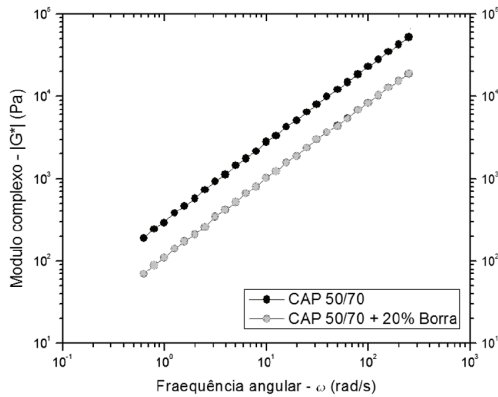
A análise reológica foi executada para CAP 50/70, comparada ao CAP 50/70 modificado com o acréscimo de 20% de borra, na temperatura de 60 °C, em regime oscilatório e usando os dados obtidos foram produzidos os seguintes gráficos (para a comparação das amostras): Módulo Complexo $|G^*|$ x Frequência angular (ω); Módulo elástico (G'), Módulo viscoso (G'') x Frequência angular (ω); ângulo de fase (δ) x Frequência angular (ω); $\tan(\delta)$ x Frequência angular (ω); $|G^*|/\sin(\delta)$ x Frequência angular (ω); $|G^*|.\sin(\delta)$ x Frequência angular (ω); Viscosidade complexa (η^*) x Frequência angular (ω) e a Compliança Complexa $|J^*|$ x Frequência angular (ω).

4 RESULTADOS

Na análise do módulo complexo (G^*) observou-se que, para a amostra de CAP 50/70 puro e para o CAP

com 20 % de Borra, seu valor aumentou em frequências angulares (ω) maiores (Figura 3). Na comparação entre as amostras têm-se valores maiores de G^* que o CAP puro para a mesma frequência angular, o que demonstra que a amostra pura é mais resistente a deformações aplicadas que a amostra com adição de 20 % de Borra para esta temperatura, portanto para este parâmetro a borra não seria indicada, buscando melhorias na resistência de um pavimento.

Figura 3 – Comportamento do módulo complexo em função da frequência angular para o CAP 50/70 puro e modificado com adição de 20% de Borra a 60°C



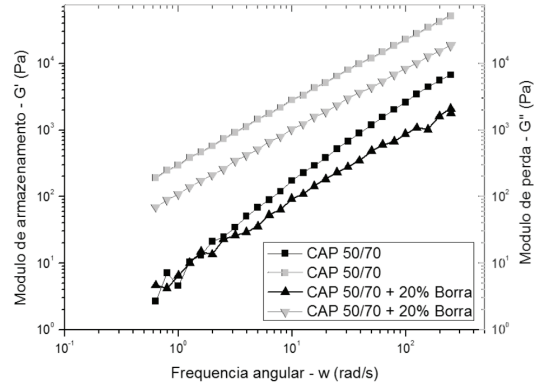
Fonte: Dados da pesquisa.

Na Figura 4 pode-se ver o comportamento do módulo elástico (G') e do módulo viscoso (G'') em função da frequência angular. O CAP puro possui resposta elástica e viscosa superior a amostra modificada com 20% de Borra (a resposta elástica ocorre a partir de uma frequência angular de aproximadamente 2,5 rad/s). Os valores do módulo viscoso encontrados foram maiores que os do módulo elástico para o ligante puro.

Já para o ligante modificado com Borra, que apresentou valores do módulo viscoso, consideravelmente maiores do que os do módulo elástico, há também valores de módulo complexo menores do que o ligante puro. Observa-se que a resposta viscosa (G'') excede a resposta elástica (G') nas duas amostras, logo a modificação

indica uma possível redução na resistência do ligante a deformações que sejam aplicadas nesta temperatura.

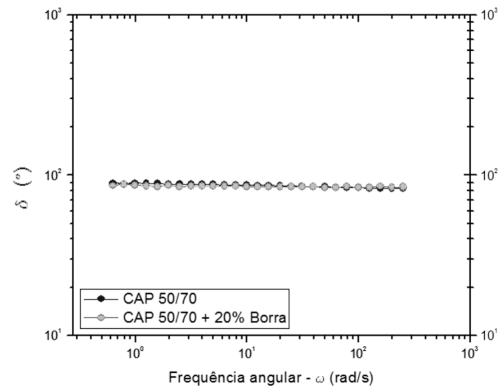
Figura 4 – Comportamento do módulo elástico (G') e do módulo viscoso (G'') em função da frequência para o CAP 50/70 puro e modificado com adição de 20% de Borra a 60°C



Fonte: Dados da pesquisa.

O gráfico da Figura 5 representa o comportamento do ângulo de fase (δ) em função da frequência angular. Nele os valores de ângulo de fase são similares para a amostra do CAP 50/70 puro e para o modificado com 20% de borra, portanto para este parâmetro não foi possível analisar mudanças em seu comportamento.

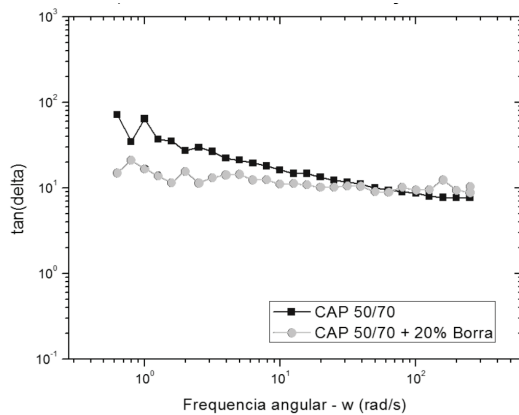
Figura 5 – Comportamento do ângulo de fase em função da frequência angular para o CAP 50/70 puro e modificado com adição de 20% de Borra a 60°C



Fonte: Dados da pesquisa.

Na Figura 6 observa-se o comportamento do fator de amortecimento ($\tan \delta$) em função da frequência angular, onde se percebe que com a adição da Borra os valores de $\tan \delta$ foram menores do que para o ligante puro até uma frequência de aproximadamente 70 rad/s, o que mostra que há um aumento de elasticidade do CAP com a adição de 20% de Borra, a partir deste valor o fator de amortecimento foi maior para do ligante modificado com Borra do que para o ligante puro, demonstrando que há um limite para este aumento de elasticidade. Observa-se também que a Borra adicionada torna a curva mais plana durante a faixa de frequência estudada.

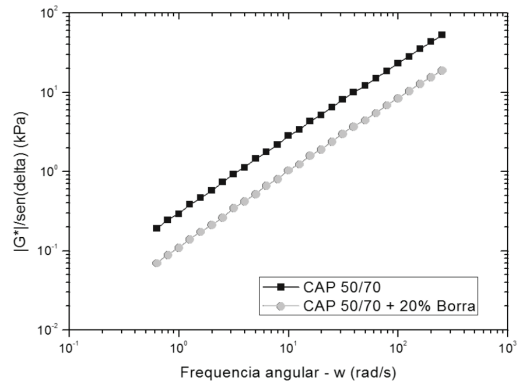
Figura 6 – Comportamento do coeficiente de amortecimento em função da frequência angular para o CAP 50/70 puro e modificado com adição de 20% de Borra a 60°C



Fonte: Dados da pesquisa.

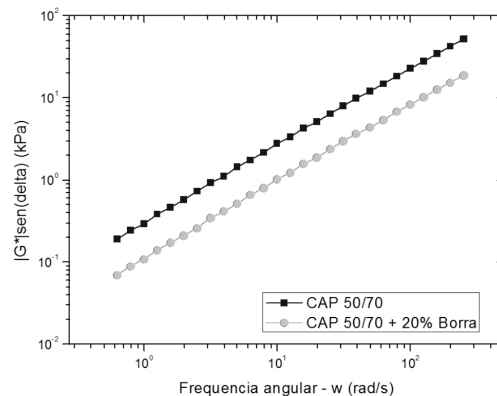
A Figura 7 mostra redução da resistência ao acúmulo de deformação permanente ($G^*/\sin \delta$) com a adição de Borra. A Figura 8 mostra o comportamento da rigidez ao acúmulo da deformação permanente em relação à frequência angular. Valores menores de resistência ao acúmulo de deformação permanente e da rigidez ao acúmulo de deformação permanente no CAP modificado com Borra indica uma piora na resistência a deformação permanente, o que pode significar um pior desempenho em um pavimento.

Figura 7 – Comportamento da resistência ao acúmulo da deformação permanente em função da frequência angular para o CAP 50/70 puro e modificado com adição de 20% de Borra a 60°C



Fonte: Dados da pesquisa.

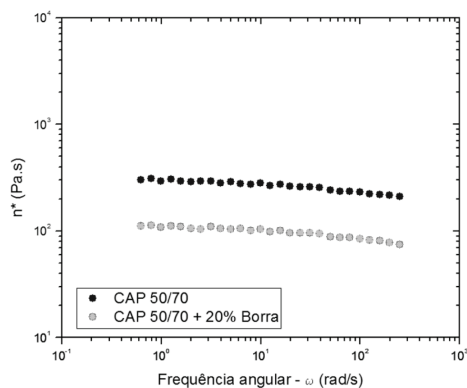
Figura 8 – Comportamento da rigidez ao acúmulo da deformação permanente em função da frequência angular para o CAP 50/70 puro e modificado com adição de 20% de Borra a 60°C



Fonte: Dados da pesquisa.

No gráfico da Figura 9 há a correlação da viscosidade complexa com a frequência angular. O CAP modificado com Borra apresenta valores de viscosidade menores do que o CAP puro. Para o CAP 50/70 puro há um desempenho ligeiramente pseudoplástico, representado pelo decréscimo dos valores de viscosidade em frequências mais elevadas, o mesmo ocorre para o CAP com 20% de Borra.

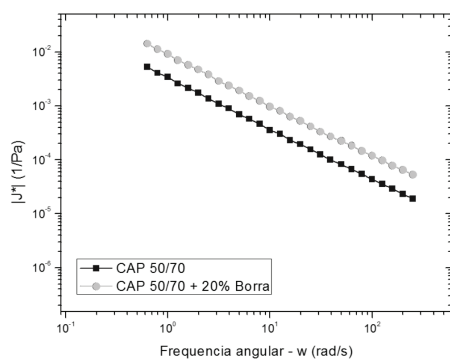
Figura 9 – Comportamento da viscosidade complexa em relação à frequência angular para o CAP 50/70 puro e modificado com adição de 20% de Borra a 60°C



Fonte: Dados da pesquisa.

Por meio dos valores de compliança é possível saber se um material é mais elástico ou mais viscoso. Na Figura 10 é possível observar o gráfico que mostra os valores da compliança complexa (J^*) em relação à frequência angular (ω). Nota-se que os valores da compliança do CAP 50/70 puro foram menores que os valores do CAP 50/70 modificado com 20% de Borra. O que sugere que o CAP modificado oferece menor capacidade de deformação quando comparada a amostra pura, e também uma redução em sua resposta elástica.

Figura 10 – Comportamento da compliança complexa em relação a frequência angular para o CAP 50/70 puro e modificado com adição de 20% de Borra a 60°C.



Fonte: Dados da pesquisa.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir do estudo reológico do ligante asfáltico (CAP 50/70), partindo do ensaio com o reômetro de cisalhamento dinâmico (DSR), foi observado que suas características (propriedades) foram alteradas na amostra de ligante modificado com 20% de borra.

A amostra pura se mostrou mais resistente e mais rígida à deformação, suas respostas, elástica e viscosa, também são superiores aos resultados obtidos para a amostra com adição de borra, mas sendo a resposta elástica superior a viscosa para as duas amostras. Para a amostra modificada também são menores a resistência e a rigidez à deformação permanente.

É visto que o estudo realizado evidencia que o CAP 50/70, ou seja, a amostra pura possui melhores propriedades que o ligante asfáltico modificado, ou seja, com os resultados obtidos, a adição de 20% de borra oleosa de petróleo pode não ser apropriada completamente para o uso em aplicações de revestimentos asfálticos, mas pode ser adequada para outros usos, como modificador de ligantes asfálticos, dando assim uma melhor destinação ao material, de uma perspectiva ambiental (evitando a contaminação do solo e da água quando não destinados corretamente) e socioeconômica.

Apesar disso, os resultados apresentados atendem particularmente a proporção estudada, se fazendo necessário, em futuras análises, verificar o comportamento reológico em outras proporções.

REFERÊNCIAS

AMARAL, S.C. **Estudo de misturas asfálticas densas com agregados do Estado do Pará utilizando asfalto convencional (CAP-40) e asfalto modificado com polímero SBS (Betuflex B 65/60)**. 2000. 218f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

- BARROS, E.S.S. **Comportamento dos betumes em função da temperatura**. 2012. 190f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade do Porto, Porto, 2012.
- BUTT, T.E.; LOCKLEY, E.; ODUYEMI, K.O.K. Risk assessment of landfill disposal sites – State of the art. **Waste Management Journal**, n.28, 2008. p.952-964.
- BRINGEL, R.M. *et al.* Análise dos parâmetros reológicos através das curvas mestras do ligante asfáltico modificado por SBS e EVA. In: 19º ENCONTRO DE ASFALTO – Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis IBP, **Anais do 19º Encontro de Asfalto**, Rio de Janeiro, 2008.
- FARIAS, R.S. *et al.* Uso de borra oleosa e borracha de pneus inservíveis na modificação de ligante asfáltico de petróleo CAP 50/70. In: 11º CONGRESSO BRASILEIRO DE POLÍMEROS, **Anais do 11º Congresso Brasileiro de Polímeros**. Campos do Jordão, 2011.
- GONZÁLES, O.; MUÑOZ, M.E.; SANTAMARÍA, A. Bitumen/polyethylene blends: using m-LLDPEs to improve stability and viscoelastic properties. **Rheologica Acta Journal**, v.45, 2006. p.603-610.
- LIMA, C.S.; SOARES, J.B. Caracterização e desenvolvimento de ligantes asfálticos modificados com borracha de pneu e aditivos. In: XX CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES – ANPET, **Anais do XX ANPET**. Brasília, Distrito Federal, 2006.
- MORRILHA, A.J. **Estudo sobre a ação de modificadores no envelhecimento nos ligantes asfálticos e nas propriedades mecânicas e de fadiga das misturas asfálticas**. 2004. 165f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.
- MOTTA, L.M.G.; SÁ, M.F.P.; OLIVEIRA, P.M.F.; SOUZA, A.M. O ensaio de Creep Estático e dinâmico na avaliação das misturas asfálticas. In: 30ª REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, p.115-135, **Anais da 30ª Reunião Anual de Pavimentação**. Salvador, 1996.

Recebido em: 15 de Março de 2016
Avaliado em: 17 de Março de 2016
Aceito em: 2 de Abril de 2016

1. Mestrando de Engenharia Civil pela Universidade Federal de Sergipe; Graduado em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Sergipe. E-mail: lucas.civil@yahoo.com.br
2. Doutora, Professora e Pesquisadora da Universidade Federal de Sergipe – Departamento de Engenharia Química. E-mail: giselia8j@gmail.com