



INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE ÓLEO DE LINHAÇA NO CIMENTO ASFÁLTICO DE PETRÓLEO

Daniel Beserra Costa¹; Fabiano Pereira Cavalcante²;
John Kennedy Guedes Rodrigues³; Ana Maria Gonçalves Duarte Mendonça⁴; Taíssa
Guedes Cândido⁵.

¹ Universidade Federal de Campina Grande, Unidade Acadêmica de Engenharia Civil –
daniel.beserra@gmail.com

² Universidade Federal de Campina Grande, Unidade Acadêmica de Engenharia Civil –
fabiano@jbr.eng.br

³ Universidade Federal de Campina Grande, Unidade Acadêmica de Engenharia Civil –
jkennedy@pq.cnpq.br

⁴ Universidade Federal de Campina Grande, Unidade Acadêmica de Engenharia Civil –
ana.duartemendonca@gmail.com

⁵ Universidade Federal de Campina Grande, Unidade Acadêmica de Engenharia de Engenharia Civil –
taissaquedes1@hotmail.com

RESUMO

O cimento asfáltico de petróleo (CAP) é o principal aglutinante utilizado no revestimento brasileiro, sendo, dentre todos os componentes da mistura asfáltica, o que sofre maior impacto com as cargas solicitantes. O CAP 50/70, apresenta-se atualmente como o mais utilizado nas estruturas rodoviárias brasileira e amplamente utilizado em pesquisas da área, sendo comumente associado a aditivos para melhoramento de suas características, o incremento de aditivos ao ligante proporciona melhorias físicas, químicas e reológicas. A correta caracterização do CAP é de crucial importância para a sua aplicação, e se dá através de ensaios normatizados pela ABNT, ensaios como penetração, ponto de amolecimento, índice de suscetibilidade térmica, ponto de fulgor e viscosidade rotacional, esses ensaios são considerados como básicos para uma correta avaliação de uma amostra de CAP. O óleo de linhaça é extraído da linhaça, a semente do linho (*Linus usitatissimum*), apresentando cor alaranjada e rico em ácidos graxos e proteína, sendo um óleo inerte, antioxidante, de fácil mistura, biodegradável e apresenta grande quantidade de ácidos linoléico e linolênico em sua composição. Esse estudo tem como objetivo avaliar a influência da adição de óleo de linhaça nas propriedades reológicas do cimento asfáltico de petróleo. Onde as amostras apresentaram uma significativa redução em sua viscosidade e temperaturas de trabalhabilidade, assim a mistura terá uma redução na sua temperatura de usinagem e compactação, mantendo as características do CAP. Assim, o acréscimo de óleo de linhaça ao CAP 50/70, torna-se uma excelente alternativa para tornar a usinagem e aplicação deste ligante mais econômica.

Palavras-chave: CAP, Óleo de linhaça, reologia.



1. INTRODUÇÃO

O Brasil apresenta-se como um país rodoviário, uma vez que a maior parte de seus deslocamentos de mercadorias ou pessoas se dá através de vias rodoviárias. O ligante asfáltico (Figura 1) é o principal aglutinante utilizado no revestimento brasileiro, sendo, dentre todos os componentes da mistura asfáltica, o que sofre maior impacto com as cargas solicitantes e intempéries, o que faz com que seja criteriosamente avaliado e categorizado de acordo com as condições com as quais será exposto durante sua vida útil.



Figura 1: Ligante asfáltico de petróleo.

A caracterização do CAP se dá através de ensaios normatizados pela ABNT, ensaios como penetração (NBR 6576/98 da ABNT), ponto de amolecimento (NBR 6560/00 da ABNT), índice de suscetibilidade térmica, ponto de fulgor (NBR 11341/04 da ABNT) e viscosidade rotacional (NBR 15184/04 da ABNT), são considerados como básicos para uma correta avaliação de uma amostra de CAP. Embora o ensaio de viscosidade rotacional seja um ensaio de precisão e sua realização esteja

geralmente vinculado a um laboratório em decorrência do equipamento utilizado, sua precisão e rapidez tornam sua utilização e análise indispensáveis para uma correta avaliação do CAP.

O óleo de linhaça é extraído da linhaça, a semente do linho (*Linus usitatissimum*), apresenta cor alaranjada e rico em ácidos graxos e proteína, sendo um excelente antioxidante. O óleo de linhaça apresenta em sua composição 9% de gorduras saturadas, 18% de gorduras monoinsaturadas e gorduras polinsaturadas (ômega 3, 57% e ômega 6, 16%), sendo comumente usada na culinária, medicina, na fabricação de linóleo, vernizes, corantes e tintas, agindo como agente secante.

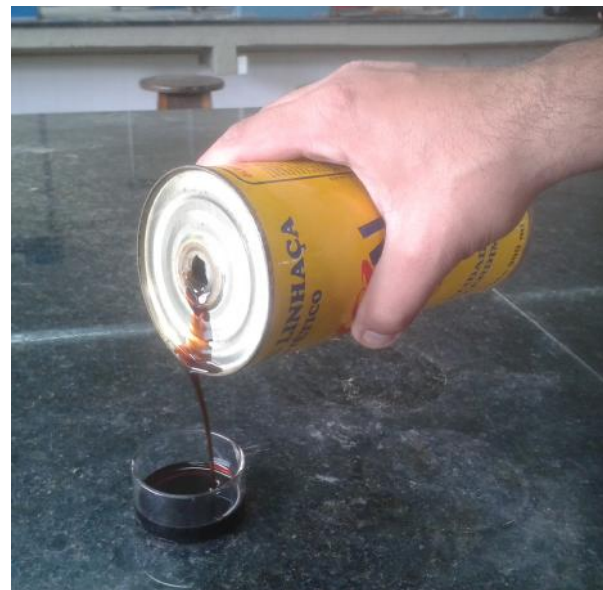


Figura 2: Óleo de linhaça.

O óleo de linhaça, já apresenta-se acessível comercialmente, o que favorece a escolha de sua utilização, além disso é um composto oleico oriundo de fonte renovável e biodegradável, que apresenta características promissoras na adição ao ligante asfáltico, uma vez que é um óleo



inerte, antioxidante, com propriedades tensoativas e de fácil mistura.

levemente amargo e odor característico e adocicado.

2. METODOLOGIA

A Figura 3 apresenta o Fluxograma das etapas da pesquisa.

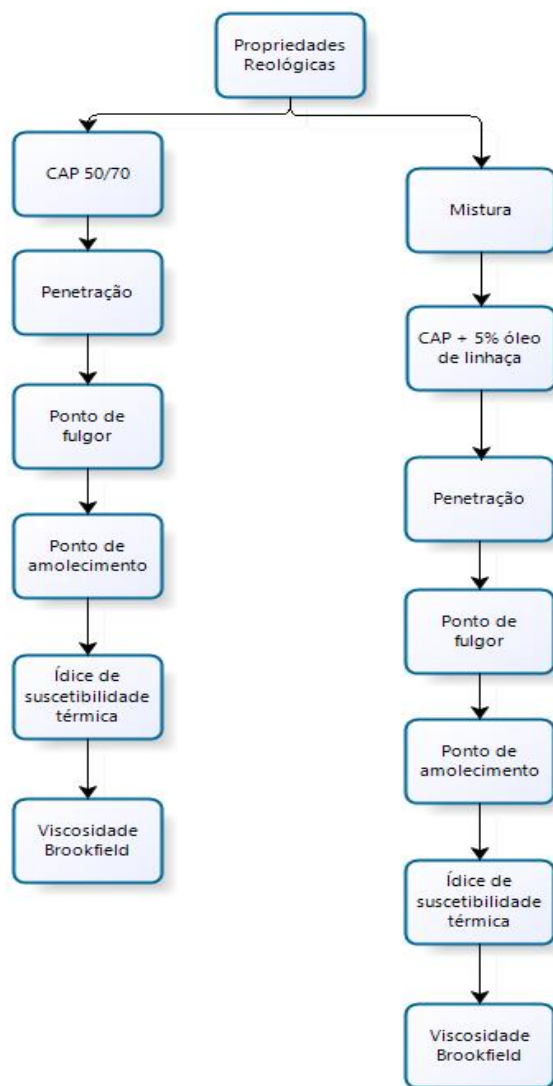


Figura 3: Fluxograma das etapas da pesquisa.

2.1 Materiais

- **CAP:** Cimento asfáltico de petróleo;
- **Óleo de Linhaça:** O óleo de linhaça apresenta coloração alaranjada, sabor

2.2 Métodos

2.2.1. Mistura

Partindo do princípio que para realização de uma mistura ideal, os compostos envolvidos devem estar em sua fase líquida para real homogeneização da amostra. E ambos componentes da mistura se apresentam fluidos com o aumento de temperatura, e com base em análises de estudos feitos em amostras de CAP 50/70 (SOUZA, 2012). Determinou-se os melhores parâmetros a serem realizadas as misturas entre o ligante asfáltico de petróleo (CAP 50/70) e o óleo de linhaça.

Sendo, estes parâmetros, tempo de mistura de 20 minutos, temperatura de mistura de 135 °C e velocidade de rotação aproximadamente de 406 rpm. Seguindo a seguinte metodologia, aquecimento da amostra a uma temperatura de 120°C em estufas. Em seguida, colocou-se o ligante puro em um misturador mecânico com a manta pré-aquecida à mesma temperatura, com rotações de 300 rpm. Ao ser atingida a temperatura de 135°C, foram adicionados os percentuais relativos do Óleo de Mamona e elevou-se os números de rotações para 406 rpm, mantendo-se em um intervalo de 20 minutos para obtenção de uma homogeneização perfeita. Decorrido este tempo, a nova composição foi retirada do misturador, deixando-a esfriar à temperatura ambiente e estocando-a adequadamente para uso.

Sendo também determinado que a amostra a ser confeccionada irá conter 5% de óleo de linhaça da amostra total, sendo um valor comumente recomendado para acréscimos de compostos oleico ao CAP.



2.2.2. Viscosidade rotacional (Brookfield)

O viscosímetro Brookfield é um viscosímetro rotacional de cilindros coaxiais, que mede a viscosidade através do torque necessário para rotacionar um Splinder (ponta de prova) imerso na amostra de aproximadamente 8 gramas de cimento asfáltico de pavimentação, a uma velocidade constante, em temperaturas de 135°C, 150°C e 177°C, permitindo obter um a relação entre temperatura-viscosidade. [BERNUCCI et. al., 2006]

Pelo método de compactação SUPERPAVE, que determina os parâmetros para a compactação de misturas asfálticas, há uma relação entre a viscosidade do ligante asfáltico de petróleo e a temperatura de compactação e usinagem. Que é estabelecido pelo valor de $0,17 \pm 0,02$ Pa.s para a viscosidade na temperatura de usinagem (TU) e $0,28 \pm 0,03$ Pa.s para a viscosidade na temperatura de compactação (TC).

2.2.3. Penetração

O ensaio de penetração é normatizado pela norma NBR 6576/98 da ABNT. O ensaio se destina a medir a consistência de materiais semissólidos, como os cimentos asfálticos de petróleo (CAP). A consistência do CAP é tanto maior quanto menor for à penetração da agulha. Este ensaio consiste em caracterizar a resistência (ou dureza) de uma amostra de asfalto, contido em um recipiente, em estado semissólido, submersa em um banho de água, à temperatura de 25°C submetida à penetração de uma agulha padronizada, com peso determinado, ao tempo de 5 segundos, obtendo uma distância percorrida pela agulha no interior da massa de asfalto, em décimos de milímetros (dmm), medida esta registrada

pela escala graduada do aparelho penetrômetro.

2.2.4. Ponto de fulgor

Segundo Bernucci (2006), o ponto de fulgor é a menor temperatura na qual os vapores emanados durante o aquecimento do material asfáltico se inflamam por contato de uma chama padronizada, estando assim, ligado diretamente com a segurança de manuseio do cimento asfáltico de pavimentação durante seu transporte, estocagem e usinagem. O ensaio de ponto de fulgor é normatizado pela norma NBR 11341/04 da ABNT.

Tem como finalidade subjetiva a determinação de pureza da amostra, tendo em vista que esta pode estar contaminada por substâncias indesejáveis como a água, materiais orgânicos ou até mesmo por materiais inflamáveis. As especificações atuais do CAP fixam o valor de 235°C para o ponto de fulgor, que é uma temperatura inferior à de combustão do material. O ensaio é realizado no Vaso Aberto de Cleveland.

2.2.5. Ponto de amolecimento

No Brasil, o método mais utilizado para obtenção deste parâmetro é o método conhecido como “anel e bola”, sendo este, descrito na norma NBR 6560/00 da ABNT. O objetivo do ensaio é medir a consistência do cimento asfáltico de petróleo com a variação de temperatura, indicando a que nível de dureza o asfalto tem determinada consistência. Este ensaio é arbitrário, pois o amolecimento de um material betuminoso não se dá a uma temperatura definida, havendo mudança gradual da consistência com a elevação da temperatura.

Segundo Bernucci et. al., (2006) o ponto de amolecimento é uma estimativa da suscetibilidade térmica do cimento



asfáltico de pavimentação, bem como de asfaltos modificados.

2.2.6. Índice de suscetibilidade térmica

Todas as propriedades físicas do asfalto estão associadas à sua temperatura. Para Richards et. al., (1991) a suscetibilidade térmica é uma taxa da mudança da consistência em função da mudança da temperatura.

O modelo estrutural do ligante como uma dispersão de moléculas polares em meio não polar ajuda a entender o efeito da temperatura nos ligantes asfálticos. Em temperaturas muito baixas, as moléculas não têm condições de se mover umas em relação às outras e a viscosidade fica muito elevada; nessa situação o ligante se comporta quase como um sólido. À medida que a temperatura aumenta, algumas moléculas começam a se mover, podendo mesmo haver um fluxo entre as moléculas. O aumento do movimento faz baixar a viscosidade e, em temperaturas altas, o ligante se comporta como um líquido. Essa transição é reversível [Bernucci et al., 2006].

A suscetibilidade térmica indica a sensibilidade da consistência dos ligantes asfálticos à variação de temperatura, sendo resultado de uma relação definida entre o ponto de amolecimento e a penetração, apresentada na equação 1:

Equação 1:

$$IP = \frac{500 \log P + 20PA - 1951}{120 - 50 \log P + PA}$$

PA = ponto de amolecimento (°C)

P = penetração (décimos de mm).

Trata-se de uma propriedade importante dos ligantes asfálticos, uma vez que, se eles forem muito suscetíveis à variação de estado ou de propriedades

frente à variação de temperatura, não serão desejáveis na pavimentação, pois podem acarretar nas misturas asfálticas características problemas como:

- Tendência de trincamento (por retração ou por fadiga) devido à exposição a baixas temperaturas;
- Tendência à deformação permanente devido ao amolecimento quando exposta a temperaturas maiores que as de serviço;
- Problemas de compactação devido às altas temperaturas que essa prática envolve.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados no ensaio de viscosidade Brookfield estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Viscosidade rotacional (Brookfield)

Viscosidade Rotacional (Brookfield)			
Amostra \ Temperatura	135 °C	150 °C	177 °C
CAP 50/70 (cP)	455,00	222,00	78,00
CAP 50/70 + 5% óleo de Linhaça (cP)	280,00	143,00	56,00
DNIT 095/2006 –EM Cap 50/70 (cP)	Min, 274	Min, 112	Min, 57-285

Observa-se que as amostras analisadas corresponderam às exigências da norma. É nítida a redução da viscosidade com o acréscimo do óleo de linhaça. O acréscimo do óleo de linhaça reduziu em 38,46% da viscosidade do ligante asfáltico para a temperatura de 135°C, de 35,59% para a temperatura de



155°C e de 28,21% para a temperatura de 177°C. Podendo ser observado que o acréscimo do óleo de linhaça nas amostras, proporciona a diminuição na viscosidade podendo representar em uma diminuição significativa nas temperaturas de usinagem e compactação. Podendo atingir uma variação de 5 a 10°C.

A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos no ensaio de penetração.

Tabela 2: Ensaio de penetração.

Penetração, ABNT NBR – 6576		
CAP 50/70 (dmm)	CAP 50/70 + 5% de óleo de linhaça (dmm)	ANP 2005 (dmm)
70,9	163,7	50 - 70

É possível observar que após a adição do óleo de mamona ao cimento asfáltico de petróleo, a mistura apresentou um aumento considerável na sua flexibilidade.

Na Tabela 3 estão apresentados os resultados obtidos no ensaio de ponto de amolecimento.

Tabela 3: Ensaio de ponto de amolecimento - Método do anel e bola.

Ponto de amolecimento, ABNT NBR 6560		
CAP 50/70 (°C)	CAP 50/70 + 5% de óleo de linhaça(°C)	ANP 2005 (°C)
47,75	36,10	46, mín.

Observa-se que a amostra com o acréscimo de óleo de linhaça apresenta seu ponto de amolecimento abaixo do exigido em norma, demonstrando que a amostra necessita de uma menor variação de temperatura para sua fluidez.

Os resultados para o índice de suscetibilidade térmica estão expostos na Tabela 4.

Tabela 4: Índice de suscetibilidade térmica.

Índice de suscetibilidade térmica		
CAP 50/70 (°C)	CAP 50/70 + 5% de óleo de linhaça (°C)	ANP 2005 (°C)
- 0,94	- 2,69	-1,5 a +0,7

Uma amostra de cimento asfáltico de petróleo deverá ter seu índice de suscetibilidade térmica enquadrada em uma faixa de (-1,5) a (+0,7), onde quanto mais esse valor se distanciar de (-1,5) negativamente a amostra se apresentará mais suscetível a temperaturas, em contrapartida quanto mais distanciar de (+0,7) positivamente a amostra será mais rígida e menos suscetível a temperatura. Observou-se que a amostra de cimento asfáltico de petróleo puro apresentou um índice de suscetibilidade térmica um dentro do índice, mas um pouco maior do que o esperado. Com o acréscimo de óleo de mamona a amostra apresenta uma elevação do índice, apresentando uma vulnerabilidade ao aumento de temperatura, podendo ser um possível problema.

Os resultados do ensaio de ponto de fulgor estão apresentados na Tabela 5:

Tabela 5: Ensaio de ponto de fulgor.

Ponto de fulgor, ABNT NBR - 11341		
CAP 50/70 (°C)	CAP 50/70 + 5% de óleo de linhaça (°C)	ANP 2005 (°C)
270	236	235 (min.)

Observa-se que para as amostras EME estudo, obteve-se valores de ponto



de fulgor que satisfazem os valores estabelecidos pela norma.

4. CONCLUSÕES

Ao avaliar os resultados das amostras com adição de óleo de linhaça é possível verificar uma significativa redução em suas viscosidades e temperaturas de trabalhabilidade, habilitando a mistura a ser caracterizada como uma mistura morna. Tal fato implica que a mistura terá uma redução na sua temperatura de usinagem e compactação, mantendo boa parte das características do CAP, porém necessitando de um estudo aprofundado relacionado à suscetibilidade térmica apresentada pela mistura. Assim, o acréscimo de óleo de linhaça ao CAP 50/70, torna-se uma excelente alternativa para tornar a usinagem e aplicação deste ligante mais econômica.

5. AGRADECIMENTOS

ATECEL – Associação Técnico Científica Ernesto Luiz de Oliveira Junior

LEP – Laboratório de Engenharia de Pavimentos, pela oportunidade de realização da pesquisa.

UAEC - Unidade Acadêmica de Engenharia Civil

UFCG – Universidade Federal de Campina Grande

JBR Engenharia

Ao CNPq

Ao Professor Titular Dr. John Kennedy Guedes Rodrigues, pela orientação e apoio.

À Professora Ph.D. Ana Maria Gonçalves Duarte Mendonça, pelo apoio, suporte e amizade.

Aos meus amigos, que me ajudaram no desenvolvimento da pesquisa.

6. REFERÊNCIAS

ABNT NBR 15184/04 - Materiais betuminosos – Determinação da Viscosidade em Temperaturas Elevadas Usando um Viscosímetro Rotacional, 2004.

ABNT NBR 6560/00 - Ponto de Amolecimento do Ligante Asfáltico, 2000.

ABNT NBR 6576/98 - Penetração do Ligante Asfáltico, 1998.

ABNT NBR 6293/01- Ductilidade do Ligante Asfáltico, 2001.

ABNT NBR 11341/04 - Ponto de Fulgor, 2004.

ASTM: American Society for Testing and Materials (2006). ASTM D 4402-6: Standard Test Method for Viscosity Determination of Asphalt at Elevated Temperatures Using a Rotational Viscometer.

BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L. M.G.; CERATTI, J. A. P.; SOARES, J.B., **Pavimentação Asfáltica: formação básica para engenheiros**. Petrobras, ABEDA, Rio de Janeiro, 2007.

DNIT: Departamento Nacional de Infra-Estrutura e Transportes, ME 095/2006. CIMENTO ASFÁLTICO DE PETRÓLEO – ESPECIFICAÇÃO DO MATERIAL. Rio de Janeiro, 2011.



ROBERTS, F.L.; KANDHAL, P.S;
BROWN, R.E.; LEE, D. e KENNED, Y. T.
W. (1996). ***Hot Mix Asphalt Materials,
Mixture Design, and Construction.***
NAPA, Maryland, USA.

SOUZA, L. J. S. ***Estudo das
propriedades mecânicas de misturas
asfálticas com cimento asfáltico de
petróleo modificado com óleo de
mamona.*** Dissertação de mestrado.
Universidade Federal de Campina
Grande. 2012.