



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

**EFEITO DA ADIÇÃO DE ÓLEO DE ALGODÃO NAS PROPRIEDADES
FÍSICAS DO LIGANTE ASFÁLTICO**

Pâmela Vitória Gomes Farias

Orientadores: John Kennedy Guedes Rodrigues
Ana Maria Gonçalves Duarte Mendonça

Campina Grande-PB,06/12/2019

**EFEITO DA ADIÇÃO DE ÓLEO DE ALGODÃO NAS PROPRIEDADES
FÍSICAS DO LIGANTE ASFÁLTICO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Campina Grande-PB, 06/12/2019

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA CIVIL**

Pâmela Vitória Gomes Farias

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Federal de
Campina Grande como requisito para
obtenção do grau de bacharel em
Engenharia Civil.

Área de habilitação: Pavimentação.

Orientadores: John Kennedy Guedes Rodrigues
Ana Maria Gonçalves Duarte Mendonça

CAMPINA GRANDE – PB

Dezembro/2019

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter sido alento quando foi difícil, justo quando tudo deu certo e por ter me permitido realizar o sonho da graduação.

Aos meus pais aos meus pais Marcos Antônio Farias da Silva e Ivonete Gomes de Lima, por toda dedicação e esforços realizados durante minha formação pessoal e profissional.

Aos meus avós Francisca Anália De Lima e José Gomes de Lima por terem acreditado sempre em minha capacidade.

Ao meu esposo Fernando Kennedy Lopes Barbosa por toda parceria e incentivo na luta diária da graduação.

Aos meus prezados orientadores Ana Maria Gonçalves Duarte Mendonça e John Kennedy Guedes Rodrigues por toda disponibilidade, orientação e dedicação que em muito contribuiu para minha formação profissional.

DEDICATÓRIA

“Quero agradecer aos meus pais a quem devo minha existência e a forma como eles me ensinaram a ver e viver a vida. também ao meu esposo que de uma forma muito especial, sempre me deu força, me apoiando sempre, principalmente nos momentos de maior dificuldade.”

Epígrafe

“Sentir é criar. Sentir é pensar em ideias, e por isso sentir é compreender,
visto que o Universo não tem ideias.”

Fernando Pessoa

RESUMO

A redução da vida útil dos pavimentos tem estimulado a busca por cimentos asfálticos de petróleo de melhor qualidade. Deste modo, a adição de modificadores com a finalidade de melhorar a qualidade do CAP e o desempenho da mistura asfáltica está sendo uma prática comum atualmente. Este estudo tem como objetivo avaliar as propriedades do ligante asfáltico CAP 50/70 modificado por adição de óleo de algodão nos teores de 2%, 3% e 4%. Foram realizados ensaios para o ligante puro e modificado por adição do óleo de algodão, antes e após envelhecimento a curto prazo-RTFO. Verificou-se que adição do óleo de algodão ao ligante asfáltico foi benéfica, permitindo obter resultados superiores aos obtidos para o ligante puro, destacando-se o teor de 4%.

Palavras-chave: CAP 50/70; óleo de algodão; RTFO.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Estrutura coloidal dos asfaltenos estabilizados pelas resinas.	19
Figura 2: Esquema dos componentes químicos do asfalto.....	19
Figura 3: Comportamento da viscosidade do ligante asfáltico modificado com aditivo orgânico com variação da temperatura.	25
Figura 4: Calendário agrícola de plantio e colheita.....	25
Figura 5: Comparativo de área, produtividade e produção – caroço de algodão.....	26
Figura 6: Comparativo de plantio de algodão entre as safras de 2017/18 e 2018/19. 26	
Figura 7: Óleo de algodão refinado.....	27
Figura 8: Agitador mecânico FISATOM, modelo 722D.....	28
Figura 9: Estufa RTFO (Rolling Thin Film Oven).	29
Figura 10: Aparelho utilizado para realização do ensaio de penetração.	31
Figura 11: Ensaio de penetração retida.....	34
Figura 12: Penetração retida para o ligante em estudo antes e após envelhecimento a curto prazo-RTFO.	35
Figura 13: Ensaio do ponto de amolecimento.....	36
Figura 14: Variação do ponto de amolecimento.....	37
Figura 15: Viscosidade rotacional à 135°C antes e após RTFO.....	37
Figura 16: Viscosidade rotacional à 150°C antes e após RTFO.....	38
Figura 17: Viscosidade rotacional à 177°C antes e após RTFO.....	39

LISTA DE TABELA

Tabela 1: Ensaio de caracterização reológicas básicas dos ligantes asfálticos.	30
Tabela 2: Nomenclatura das amostras da pesquisa.....	32

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1 JUSTIFICATIVA	13
1.2 OBJETIVOS	14
1.2.1 Objetivo Geral.....	14
1.2.2 Objetivos Específicos.....	14
1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO -TCC	15
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
2.1. Ligantes asfálticos.....	15
2.2 Propriedades dos ligantes asfálticos	18
2.3 Ligantes asfálticos modificados	20
2.4 Misturas asfálticas.....	22
2.6 Óleo de Algodão.....	23
3. MATERIAIS E MÉTODOS	27
3.1 Materiais.....	27
☐ <i>Ligante asfáltico</i>	27
☐ <i>Óleo de algodão refinado</i>	27
3.2 Métodos	28
3.2.1 Produção da mistura do ligante asfáltico com a adição do óleo de algodão	28
3.2.2 Procedimento de envelhecimento a curto prazo (RTFO).....	29
3.2.3 Caracterização físico-química dos Ligantes	30
3.2.4 Ensaio de Penetração.....	30
3.2.5 Ponto de Amolecimento	31
3.2.6 Viscosidade Rotacional.....	32
3.2.7 Nomenclatura das amostras	32
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	33
4.1 Envelhecimento a curto prazo	33
4.2 Ensaio de Penetração	33
4.3 Ponto de Amolecimento.....	35
4.4 Viscosidade Rotacional	37

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS	40
5.1 <i>Considerações Finais</i>	40
5.2 <i>Sugestões para pesquisas futuras</i>	40
REFERÊNCIAS.....	41

1. INTRODUÇÃO

Segundo Fernandes (2007), a incorporação de polímeros e aditivos tem sido demonstrada com base em diversos estudos avaliando o quanto que o asfalto contribui para melhorar o grau de desempenho dos materiais. As contribuições são, o aumento da resistência à deformação permanente, quando aplicadas temperaturas mais elevadas de serviço, o melhoramento do comportamento elástico do asfalto o que torna mais resistente à decomposição oxidativa, que ocorre naturalmente durante toda a vida útil do pavimento.

Com o intuito de evitar erros no dimensionamento dos projetos de pavimentação, o estudo das propriedades de materiais locais permite que a demanda por métodos de rápida execução e de baixo custo para obtenção de parâmetros seja satisfeita quando esta é solicitada (SPECHT et al, 2008)

Tomando como base o fator gerador de uma quantidade significativa de resíduos de óleo de cozinha que quando são descartados de maneira errônea, podem prejudicar a tubulação de esgoto, rios e o solo, seria interessante a substituição parcial ao CAP 50/70 e ao AMP 55/75 (Asfalto modificado por polímero, de maneira a adicionar óleos nas condições novos e pós-consumo (residual), em teores que quando utilizados, sejam equivalentes no critério da curva de viscosidade). (PORTUGAL, 2016)

De acordo com Medina (2005), a necessidade cada vez mais crescente de um maior número de pavimentos experimentais de pista no Brasil, sendo estes de uma qualidade que tende exponencialmente ao crescimento visto a necessidade destes corresponderem mais a demanda incessante por durabilidade, materiais asfálticos são progressivamente desenvolvidos nos laboratórios de pesquisa das universidades e centros de pesquisa de indústrias.

Com base nos contextos abordados acima, o presente trabalho propõe analisar os efeitos da adição do óleo de algodão no comportamento do ligante asfáltico puro e modificado, com o intuito de determinar as vantagens de sua utilização, e a resistência do ligante asfáltico que será modificado, examinando assim a eficiência do uso deste como alternativa sustentável e inovadora.

1.1 JUSTIFICATIVA

As rodovias são os principais sistemas de transporte utilizados para o deslocamento de pessoas e bens. Entretanto, nas últimas décadas, o aumento do volume de tráfego, das cargas transportadas por eixo e da pressão dos pneus, tem ocasionado a degradação prematura dos revestimentos asfálticos.

As patologias existentes são originárias do mau uso da via devido a grandes solicitações para as quais o pavimento não foi projetado, de deficiências na execução do processo construtivo, do emprego de materiais com propriedades insuficientes para atender à necessidade, e ainda das condições climáticas atuantes.

Assim, a modificação do ligante asfáltico com óleo de algodão visa aumentar a resistência às deformações permanentes, trincas ocasionadas por fadiga ou por variações térmicas, além de, conseqüentemente, melhorar as condições de segurança e conforto das rodovias e reduzir custos com manutenções.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Este estudo tem como objetivo avaliar o efeito da adição de óleo de algodão nas propriedades físicas do ligante asfáltico.

1.2.2 Objetivos Específicos

- ✓ Investigar as propriedades físicas do ligante asfáltico modificado por adição de óleo de algodão antes e após envelhecimento a curto prazo – RTFO.
- ✓ Avaliar o comportamento da viscosidade do ligante asfáltico modificado por adição de óleo de algodão antes e após envelhecimento a curto prazo – RTFO.
- ✓ Avaliar a perda de massa ocorrida com o aumento da temperatura para o ligante asfáltico puro e modificado antes e após envelhecimento a curto prazo – RTFO.

1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO -TCC

O texto deste Trabalho de Conclusão de Curso - TCC encontra-se em um volume único distribuído da seguinte forma:

Introdução – Introdução, Justificativa, Objetivos e Organização da pesquisa

Fundamentação Teórica – São abordados assuntos relacionados aos ligantes asfálticos, modificação de ligantes asfálticos, óleo de algodão e propriedades de ligantes asfálticos.

Materiais e Métodos – São apresentados os materiais utilizados na pesquisa e relatados aspectos considerados importantes sobre os procedimentos da etapa experimental

Resultados e Discussões – São apresentados os resultados obtidos para o comportamento térmico dos ligantes asfálticos em estudo

Considerações Finais e Sugestões para pesquisas futuras – São apresentadas considerações acerca dos resultados obtidos e apresentados sugestões para estudos futuros.

Por fim, estão as Referências, onde serão listadas as pesquisas citadas neste estudo.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Ligantes asfálticos

O ligante asfáltico, amplamente utilizado na pavimentação de rodovias, é um material bastante complexo com uma grande variedade de compostos orgânicos. É originado do petróleo, podendo ser obtido por evaporação natural de depósitos localizados na superfície da terra (asfaltos naturais) ou por destilação em unidades industriais (refinarias de petróleo). Tem a propriedade de ser um adesivo termoviscoplastico, impermeável à água e pouco reativo. A baixa reatividade química a agentes não evita que esse material possa sofrer, no entanto, um processo de envelhecimento por oxidação pelo contato com o ar e a água (SOBREIRO, 2014). Assim, apesar do asfalto ser pouco reativo, sua

composição pode ser alterada ao sofrer ação de calor, ar e radiação ultravioleta (MELLO, 2014), fatores que podem inclusive reduzir a vida útil dos pavimentos.

Segundo PORTUGAL (2016) CAP no Brasil é o produto que se apresenta como um semi-sólido a temperaturas baixas, viscoelásticoplástico à temperatura ambiente e viscoso a altas temperaturas, o mesmo se enquadra nos limites de consistência para determinadas temperaturas.

O asfalto pode ser extraído na natureza em rochas asfáltica e em lagos naturais, ou ainda por técnicas de processamento do petróleo, este pode ser empregado como um ligante, considerando para isto sua capacidade de permitir flexibilidade controlável devido ao fato de prestar forte união dos agregados. É importante considerar que o asfalto e o alcatrão são materiais betuminosos, sendo este segundo praticamente não mais utilizado, devido ao fato de apresentar comportamento cancerígeno, além disto o mesmo possui baixa qualidade e pouca homogeneidade o que acabou por inviabilizar sua utilização como ligante.

De acordo com BERNUCCI (2008) É importante considerar na atualidade dois fatos, sendo estes que o alcatrão caiu em desuso, e que o ligante dominante na pavimentação é derivado do petróleo o que torna admissível a utilização dos termos betume e asfalto com a finalidade de falar da mesma coisa.

Segundo BERNUCCI (2008) O ligante asfáltico no decorrer do transporte é submetido a altas temperaturas, já quando este é estocado e processado ocorrem a utilização de equipamentos especiais de proteção individual, com isso essas práticas tornam o ligante asfáltico um material de grau de risco mínimo para a saúde.

De acordo com BERNUCCI (2008) A destilação do petróleo dá origem a um ligante betuminoso que é o asfalto, este tem como característica ser um adesivo termoviscoelástico, propriedade que o torna pouco reativo e impermeável a água, porém o asfalto pode sofrer um processo de envelhecimento com oxidação lenta devida à interação com água e com ar.

Segundo JUNIOR MORILHA (2004) A redução da vida útil das misturas asfálticas decorre do envelhecimento do ligante que acontece simultaneamente a usinagem e aplicação deste na pista, e, também em toda a vida de serviço da

pista. A durabilidade e desempenho de um pavimento a longo prazo pode sofrer intervenção da variação de temperatura na mistura do ligante asfáltico.

De acordo com FAXINA (2013) A viscosidade, modificação e o teor do ligante são fatores significantes relacionados aos ligantes asfálticos, sendo estes diretamente relacionados com o desempenho de uma mistura asfáltica de acordo com o acúmulo de deformação permanente. A partir da compactação da mistura entre ligante asfáltico e agregados em uma elevada temperatura surgem os revestimentos asfálticos que podem ter variados tipos de defeitos, sendo estes devido a umidade, deformação permanente em altas temperaturas, e o trincamento por fadiga que ocorre em temperaturas intermediárias, estes resultam das condições severas nas quais os pavimentos são submetidos.

Segundo FAXINA (2006) Quando submetido a baixas temperaturas o ligante asfáltico tem um comportamento de caráter similar a um sólido, considerando que não há um deslocamento entre as moléculas, a viscosidade do material neste caso é alta, já quando este é submetido a um aumento de temperatura como ocorre uma movimentação entre as moléculas este se comporta como um líquido considerando que a viscosidade do ligante diminui.

Segundo BERNUCCI (2008) O tipo do ligante pode estar diretamente relacionado em como a temperatura pode influenciar em maior ou menor quantidade no desempenho dos pavimentos, é possível tomar como referência a este ponto de vista o fato de que quanto maior a viscosidade, maior será a resistência do pavimento à deformação. Se o pavimento atingir temperatura próxima ou superior ao ponto de amolecimento do ligante, a estrutura do agregado mineral que compõe a mistura asfáltica pode ser capaz de garantir as solicitações provenientes da carga de tráfego. Um fato que ocorre comumente é o acréscimo da rigidez do material, o que o torna mais frágil, quebradiço, e muito viscoso, devido à ação de agentes externos nos ligantes asfálticos em misturas asfálticas já degradadas que passaram por transformações químicas durante o tempo de serviço das mesmas como revestimento de pavimentos.

O CAP (cimento asfáltico de petróleo) tem em sua composição alcanos e bases de nitrogênio, além de distintas substâncias saturadas, é composto também com notável relevância por asfaltenos que correspondem a base sólida do produto, o que proporciona coloração e rigidez, e os maltenos que a compõem

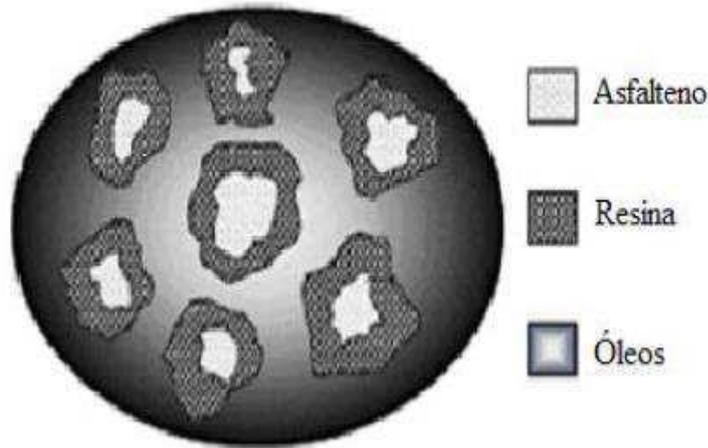
correspondem à parte oleosa que é o veículo para as outras partes sólidas. Os fenômenos climáticos como chuvas com certa acidez, radiação solar, assim como a ação de combustíveis e lubrificantes dos veículos podem causar alterações químicas no revestimento asfáltico.

Considerando que podem ocorrer fissuras devidas a retração térmica que se formam por conta da ocorrência de baixas temperaturas durante o inverno em determinadas regiões onde o clima é temperado, é importante selar as fissuras com ligantes asfálticos anualmente, visando impedir a infiltração de água nestas, considerando que este fator pode causar a degradação por finos do subleito.

2.2 Propriedades dos ligantes asfálticos

O cimento asfáltico de petróleo ou ligante asfáltico apresenta na sua composição basicamente duas frações: os maltenos, que são constituídos pelos compostos saturados, aromáticos e resinas, sendo estes compostos de baixa massa molar e polaridade; e os asfaltenos, que constituem a fração mais pesada e polar do ligante asfáltico. Sendo estes considerados a fração mais importante, pois tem implicações desde a produção do ligante a implicações econômicas. A reatividade dessas moléculas com o oxigênio é fortemente influenciada pela temperatura, sendo que os asfaltenos apresentam maior reatividade, seguidos das resinas, aromáticos e saturados. As propriedades químicas, físicas e reológicas do ligante asfáltico dependem basicamente da sua estrutura coloidal e ligações entre os componentes e, em particular, da proporção de asfaltenos e maltenos (Figura 1).

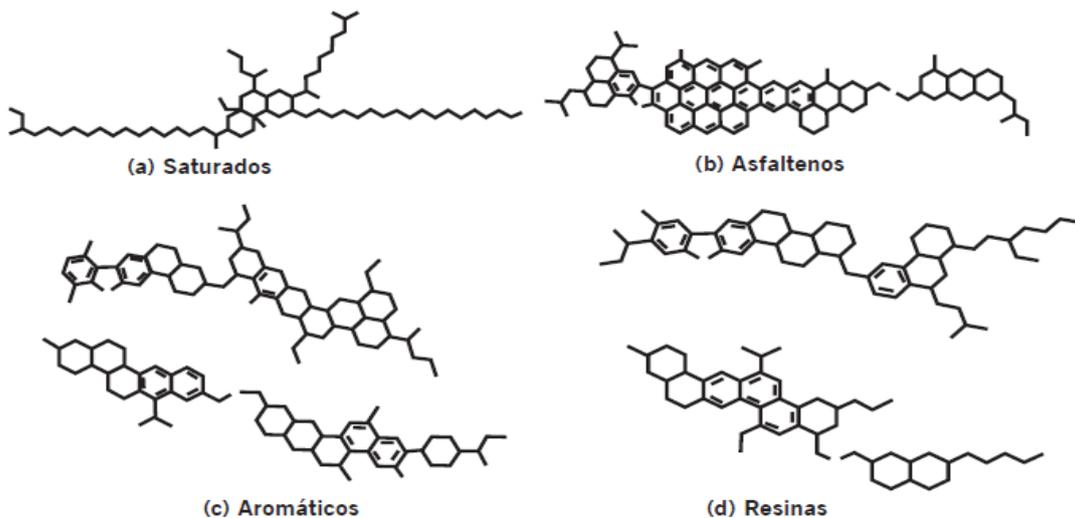
Figura 1: Estrutura coloidal dos asfaltenos estabilizados pelas resinas.



Fonte: Murgich & Col (1996)

Segundo Nascimento (2015), a quantidade de asfaltenos pode variar de 5 a 25%, a de aromáticos de 40 a 65% e os saturados de 5 a 20% da constituição do ligante asfáltico. A Figura 2 ilustra genericamente o esquema dos componentes químicos do asfalto.

Figura 2: Esquema dos componentes químicos do asfalto.



Fonte: Bernucci (2008)

Com o intuito de entender o efeito da temperatura nos ligantes asfálticos é possível utilizar o modelo estrutural do ligante como uma dispersão de moléculas polares em meio não-polar, uma importante consideração também é que todas as propriedades físicas do asfalto estão associadas à sua temperatura.

A temperatura deve ser considerada nos ligantes de acordo com sua viscosidade, considerando que se a temperatura for muito baixa, a viscosidade fica muito elevada devido ao fato de que as moléculas não têm condições de se mover umas em relação às outras o que explica que nesse caso o ligante se comporte quase como um sólido. Quando ocorre o aumento de temperatura, acontece a agitação de algumas moléculas que começam a se mover o que possibilita que haja um fluxo entre as moléculas, a viscosidade baixa devido ao aumento do movimento, o que faz com que em altas temperaturas, o ligante se comporte como um líquido.

Uma observação importante é que as condições de mudanças de estado vistas acima são reversíveis, para avaliar a classificação dos ligantes é importante verificar sua suscetibilidade térmica com o auxílio de algum ensaio que meça direta ou indiretamente a consistência e viscosidade dos ligantes em diferentes temperaturas, considerando desta forma que a faixa de temperatura correspondente à transição entre sólido e líquido, sendo assim esta influenciada pela proporção dos quatro componentes do ligante asfáltico e pela interação existente entre eles.

2.3 Ligantes asfálticos modificados

Os asfaltos modificados são constituídos de duas fases, uma constituída por pequenas partículas dos aditivos e outra pelo asfalto. Nas composições de baixa concentração de aditivos existe uma matriz contínua de asfalto na qual o aditivo se encontra disperso. Quando a concentração do aditivo é aumentada, se produz uma inversão de fases e o asfalto se encontra disperso no aditivo. Esta morfologia bifásica e as interações existentes entre as moléculas podem ser a causa das mudanças nas propriedades.

Para serem empregados como modificadores de asfaltos, os aditivos devem ser compatíveis com os ligantes e resistentes ao calor empregado nos processos de compactação e usinagem, ou seja, as propriedades do ligante são altamente sensíveis às condições de operação. Isto é particularmente verdade tratando-se do comportamento reológico, que reflete diretamente as mudanças na constituição e/ou estrutura do ligante (YILDIRIM, 2007, BRINGEL, 2007).

Com o intuito de reforço e manutenção de rodovias existentes, e também de uma maior preocupação com a qualidade da superfície quanto ao conforto e à segurança dos usuários em todas as condições climáticas, há um direcionamento de trabalhos de pavimentação atualmente, que consideram o uso de ligantes asfálticos modificados nas misturas asfálticas.

É importante considerar a complexidade da composição química dos ligantes, tomando como referência o fato de que o número de átomos de carbono por molécula varia de 20 a 120. O que também causa influência no desempenho físico e mecânico das misturas asfálticas é a composição química do CAP, porém é significativo considerar que este causa uma maior influência nos processos de incorporação de agentes modificadores. De acordo com o tipo de fracionamento ao qual for submetido o ligante asfáltico irão ocorrer também mudanças na composição química.

Com o intuito de aumentar o desempenho das misturas asfálticas tem sido cada vez mais necessário o uso de modificadores das propriedades dos asfaltos, principalmente em situações quando ocorrem condições adversas de clima, nas quais acontecem grandes diferenças térmicas entre inverno e verão nas rodovias, para atender o volume de veículos comerciais e peso por eixo crescente, ano a ano, em rodovias especiais ou nos aeroportos, em corredores de tráfego pesado canalizado, considerando para estas situações que mesmo com o bom desempenho dos asfaltos convencionais que tem comportamento considerável, ainda há a necessidade de melhora no desempenho dos das rodovias.

2.4 Misturas asfálticas

Os agregados graúdos têm importância determinante nas propriedades mecânicas e de envelhecimento das misturas asfálticas, a fração de agregados graúdos sendo dominante nas características de absorção dos agregados, implica grande importância no envelhecimento das misturas asfálticas.

A nova alternativa de utilização de misturas asfálticas mornas na indústria da pavimentação tem o intuito de reduzir os impactos ambientais, é importante considerar que as misturas mornas, reduzem as emissões de poluentes, os gastos com combustível e a exposição dos trabalhadores aos fumos e odores que são gerados durante a usinagem e compactação da mistura, o que indicam as vantagens do uso desta, com a redução das temperaturas na fabricação das misturas asfálticas mornas em relação às convencionais, sendo este um resultado desejável, pois indica que a redução das temperaturas busca melhores resultados de trabalhabilidade e um menor envelhecimento do ligante, o que possibilita um pavimento de melhor desempenho e mais resistente ao trincamento.

2.5 Envelhecimento do ligante asfáltico

Desde sua fabricação na refinaria até o fim da vida útil em uma rodovia, o ligante asfáltico evolui em função do tempo. Esta evolução é traduzida pela perda de suas propriedades mecânicas e é conhecida como envelhecimento.

O envelhecimento de ligantes asfálticos é um fenômeno complexo, na extensão em que provoca alterações de natureza física e química que estão diretamente relacionadas a mecanismos de destruição da camada asfáltica, como desagregação e trincamento por fadiga e/ou de origem térmica (NASCIMENTO & FAXINA, 2017). Devido a sua influência sobre as propriedades reológicas dos ligantes asfálticos, o envelhecimento tem sido objeto de estudos ao longo das últimas décadas, com o intuito de tentar incluir alguns critérios de controle nas especificações destes materiais.

De acordo com Silva (2005) O envelhecimento de um ligante asfáltico ocorre principalmente em três etapas: • Fabricação da mistura ligante asfáltico e agregado pétreo (USINAGEM): o ligante é aquecido a altas temperaturas (160-180°C) na presença de O₂, sob a forma de película fina (5 a 15 µm) para entrar em contato com o agregado aquecido. Após esta etapa o ligante asfáltico já não possui as mesmas características de saída da refinaria; • Espalhamento e compactação: o ligante asfáltico está em constante contato com oxigênio e sob altas temperaturas. • Utilização da estrada ou *in situ*: o ligante está sujeito a temperaturas mais baixas, não ultrapassando 60-70°C na superfície do revestimento, mas continua envelhecendo devido às condições climáticas e, também por conta da solicitação do tráfego de veículos.

Segundo Silva (2005) O processo de envelhecimento ocorre em presença de oxigênio, de radiação ultravioleta (UV), variações de temperatura e pelo tráfego. A evaporação de parte da fração maltênica ocorre no envelhecimento do ligante asfáltico, e por oxidação, o que transforma os óleos aromáticos em resinas, e estas em asfaltenos, o que gera um aumento da consistência do ligante e uma maior rigidez da mistura betuminosa. O "ressecamento", ou endurecimento do ligante asfáltico, combinado com a ação do tráfego de veículos, gera fissuras e degradação no pavimento.

2.6 Óleo de Algodão

De acordo com SUZARTE (2008) *Gossypium hirsutum L.r. latifolium Hutch.*, que é a espécie do algodoeiro é uma das mais plantadas no mundo, o óleo de algodão é um subproduto classificado como terciário, sendo este o primeiro óleo vegetal que foi fabricado industrialmente, e que foi muito consumido no Brasil, visando a obtenção desse óleo é realizada a abertura do caroço do algodão o que possibilita a obtenção e esmagamento do grão, o que culmina na extração do óleo com o auxílio de uma prensa hidráulica ou por meio de extração química.

O algodão envolve as sementes do algodoeiro e, embora seja macio, suas fibras possuem boa resistência ao serem submetidas a esforços de tração, sendo bastante utilizado na confecção de tecidos (FABIANO, 2012). Sua

qualidade assim como o conteúdo dos ácidos graxos, depende principalmente das condições climáticas as quais é submetido em campo após a colheita. Numa mesma região, em um ano, a qualidade do óleo pode mudar de acordo com a variação das condições climáticas.

Levando em consideração o fato de que o óleo de algodão quando obtido apresenta coloração escura, é essencial que seja realizado o refino térmico, que é onde se indica a qualidade e a estabilidade do produto final, o que torna este procedimento de extrema importância, o óleo de algodão passa por três etapas de clarificação.

A cotonicultura bastante mecanizada, é empregada no momento com grande notoriedade nas regiões de cerrado das regiões Nordeste e Centro-oeste, os produtores com maior relevância são os da região Sul e Sudeste, há também produção no Nordeste na região do semiárido, porém, esta é de pequena escala, e ocorre, nos sertões do Ceará, Pernambuco Rio Grande do Norte, Paraíba, e no sul da Bahia. Em Campina Grande, agreste Paraibano, está situada a Embrapa algodão, instituição esta que coopera com iniciativas estaduais voltadas à cotonicultura.

Tradicionalmente a importância da produção do algodão se dá pelo fato de sua semente ser favorável na produção de óleo e também do línter, um subproduto que tem grande importância do mercado têxtil, sendo bastante utilizado na fabricação de fio de tecelagem.

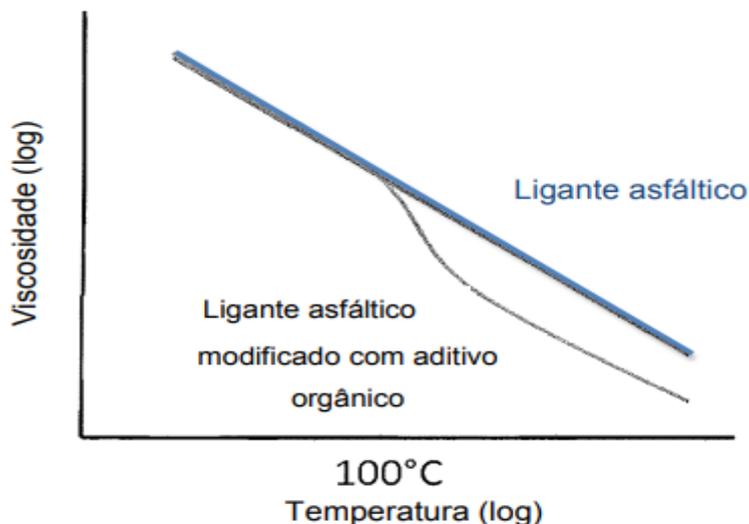
Segundo Putti et al. (2012), em relação a produção industrial, o óleo de algodão é o óleo vegetal mais antigo e tem consumo em grande escala no Brasil, sendo reduzido com o aumento da produção da soja. Devido ao seu maior ponto de fusão (comparando-se a outros óleos), o óleo de algodão suporta temperaturas mais elevadas sem que haja perda em sua qualidade e alterações significativas em suas propriedades (SILVA, 2016).

Beltrão e Pereira (2000) destacam que a espécie de algodoeiro *Gossypium* corresponde a 90% da produção mundial. Estima-se que essa produção, realizada em mais de 65 países, está distribuída em aproximadamente 33,31 milhões de hectares.

Com relação ao uso de óleos em ligantes asfálticos é esperada nessa pesquisa obter resultados que impliquem que o dano por umidade pode ser

reduzido como consequência de uma maior adesividade nos ligantes asfálticos, além de comprovar as viabilidades técnicas, econômicas e sustentáveis do uso do óleo de algodão. A Figura 3 ilustra Comportamento da viscosidade do ligante asfáltico modificado com aditivo orgânico com variação da temperatura.

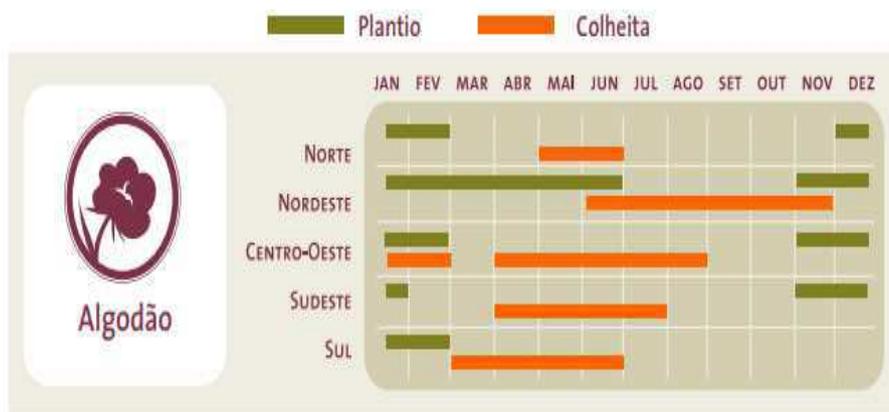
Figura 3: Comportamento da viscosidade do ligante asfáltico modificado com aditivo orgânico com variação da temperatura.



Fonte: ANDERSON et al. (2008)

A figura 4 ilustra o calendário agrícola do ano de 2018 para o plantio e colheita do algodão.

Figura 4: Calendário agrícola de plantio e colheita.



FONTE: Conab (2019).

A Figura 5 ilustra o comparativo de área, produtividade e produção – caroço de algodão.

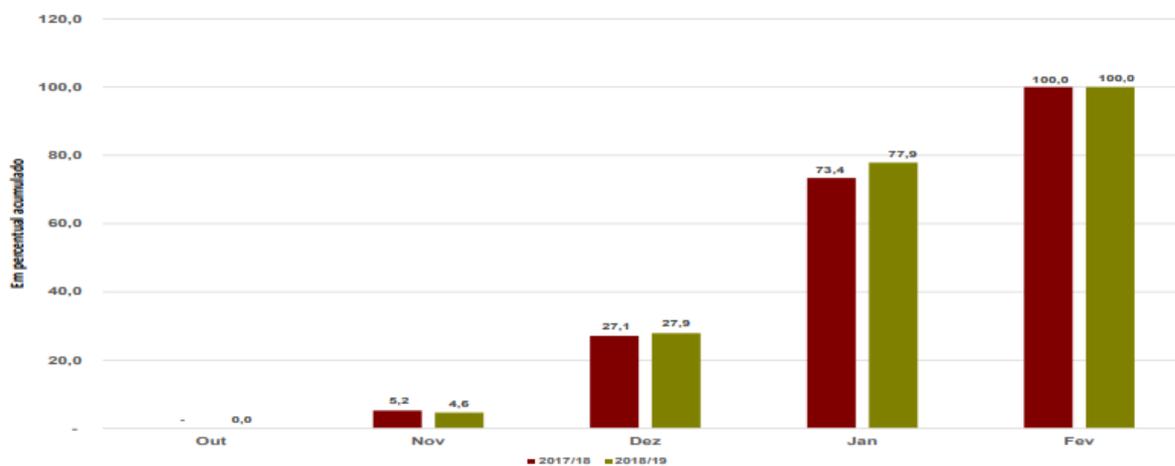
Figura 5: Comparativo de área, produtividade e produção – caroço de algodão.

REGIÃO/UF	ÁREA (Em mil ha)			PRODUTIVIDADE (Em kg/ha)			PRODUÇÃO (Em mil t)		
	Safra 17/18	Safra 18/19	VAR. %	Safra 17/18	Safra 18/19	VAR. %	Safra 17/18	Safra 18/19	VAR. %
	(a)	(b)	(b/a)	(c)	(d/c)	(e)	(f)	(f/e)	
NORTE	7,6	14,5	90,8	2.474	2.646	7,0	18,8	38,5	104,8
RR	4,8	6,0	25,0	2.804	2.864	10,0	12,5	17,2	37,6
RO	-	4,5	-	-	2.325	-	-	10,5	-
TO	2,8	4,0	41,5	2.250	2.678	19,0	6,3	10,8	71,4
NORDESTE	295,2	377,5	27,9	2.769	2.622	(5,3)	817,5	990,1	21,1
MA	22,3	27,6	23,8	2.348	2.540	8,2	52,4	70,1	33,8
PI	7,2	16,1	123,7	2.195	2.280	3,9	15,8	36,7	132,3
CE	1,2	0,6	(48,7)	531	458	(13,8)	0,7	0,3	(57,1)
RN	0,3	0,3	-	2.766	2.440	(11,8)	0,8	0,8	-
PB	0,5	0,9	80,0	572	765	33,8	0,2	0,7	250,0
BA	263,7	332,0	25,9	2.835	2.655	(6,3)	747,6	881,5	17,9
CENTRO-OESTE	841,2	1.148,9	36,6	2.494	2.482	(0,5)	2.098,0	2.851,9	35,9
MT	777,8	1.069,5	37,5	2.488	2.476	(0,5)	1.935,3	2.647,7	36,8
MS	30,4	37,0	21,6	2.655	2.567	(3,3)	80,7	95,0	17,7
GO	33,0	42,4	28,5	2.485	2.576	3,7	82,0	109,2	33,2
SUDESTE	30,7	48,8	59,0	2.368	2.317	(2,2)	72,8	113,0	55,2
MG	25,0	39,4	57,6	2.380	2.299	(3,4)	59,5	90,6	52,3
SP	5,7	9,4	64,9	2.319	2.390	3,1	13,3	22,4	68,4
SUL	-	0,6	-	-	1.812	-	-	1,1	-
PR	-	0,6	-	-	1.812	-	-	1,1	-
NORTE/NORDESTE	302,8	392,0	29,5	2.762	2.623	(5,0)	836,3	1.028,6	23,0
CENTRO-SUL	871,9	1.198,3	37,4	2.490	2.475	(0,6)	2.170,8	2.966,0	36,6
BRASIL	1.174,7	1.590,3	35,4	2.560	2.512	(1,9)	3.007,1	3.994,6	32,8

FONTE: Conab (2019).

A figura 6 ilustra o comparativo do plantio de algodão entre 2017/2018 e 2018/2019.

Figura 6: Comparativo de plantio de algodão entre as safras de 2017/18 e 2018/19.



FONTE: Conab (2019).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais

Os materiais usados na pesquisa foram:

- Ligante asfáltico

O ligante asfáltico usado na pesquisa foi doado pela empresa JBR Engenharia LTDA, classificado como CAP 50/70, convencional. A amostra foi denominada de “Ligante Puro”

- Óleo de algodão refinado

O óleo de algodão foi obtido no comércio local, sendo um produto de fácil aquisição e de produção em larga escala. A figura 7 ilustra o óleo de algodão refinado.

Figura 7: Óleo de algodão refinado



FONTE: Aboissa (2018)

3.2 Métodos

3.2.1 Produção da mistura do ligante asfáltico com a adição do óleo de algodão

Utilizando o agitador mecânico de baixo cisalhamento da marca FISATOM, modelo 722D (Figura 8), através das análises e procedimentos estabelecidos nos estudos realizados por Ziegler (2017), Souza (2012) e Faxina (2006), objetivando a avaliação do comportamento de amostras de ligante asfáltico associados a compostos oleicos, escolheu-se os parâmetros a serem utilizados para a realização da mistura do CAP 50/70 com óleo de algodão refinado.

Figura 8: Agitador mecânico FISATOM, modelo 722D.



FONTE: Ziegler (2017)

A mistura asfáltica foi submetida a um aquecimento prévio em estufa a 120°C por cerca de 90 minutos para garantir a fluidez necessária que possibilitasse a homogeneização.

O material foi depositado em um béquer e inserido na manta do agitador mecânico e submetido a uma rotação de 406 rpm para assegurar uma homogeneidade na distribuição da mistura.

Ao se atingir a temperatura de estabilização (135°C) foi adicionada o aditivo oleaginoso em proporção ao peso do ligante puro e aguardou-se 20

minutos para a homogeneização da mistura. Foi adicionado ao ligante o óleo de algodão refinado, separadamente, os teores 2, 3, 4 %.

3.2.2 Procedimento de envelhecimento a curto prazo (RTFO)

O processo de usinagem provoca um desgaste no ligante asfáltico, rompendo ligações e volatizando alguns componentes, por isso é importante analisar a mistura antes e após uma simulação desse envelhecimento a curto prazo efetuado por meio da utilização do Rolling Thin Film Oven (RTFO).

A execução dos ensaios seguiu as indicações preconizadas pela NBR 15235/2009 e foi realizado para todas os ligantes estudados nesta pesquisa. A realização da simulação do envelhecimento dos ligantes durou 85 minutos, sob a temperatura de 165 °C, onde amostras de 35 gramas já aquecidas ficaram rotacionando e submetidas a aplicação de jatos de ar a cada 3 ou 4 segundos, de acordo com a norma.

Figura 9: Estufa RTFO (Rolling Thin Film Oven).



Após finalizado o procedimento foi verificada a variação de massa que o ligante sofreu utilizando a Equação 1. As amostras envelhecidas foram novamente caracterizadas por meio dos ensaios empíricos e reológico de viscosidade rotacional.

$$\text{eq (1) : } \Delta M = \left(\frac{M_{\text{inicial}} - M_{\text{final}}}{M_{\text{inicial}}} \right) \times 100$$

Onde:

ΔM = variação em massa (%)

Minicial = massa do CAP antes do RTFO (g)

Mfinal = massa do CAP após o RTFO (g)

3.2.3 Caracterização físico-química dos Ligantes

Foram utilizados ensaios para medir as propriedades reológicas fundamentais do ligantes asfálticos puro e modificado.

A fim de caracterizar os ligantes asfálticos foram realizados os ensaios de penetração, ponto de amolecimento e viscosidade rotacional, antes e após o procedimento de RTFO, seguindo a metodologia apresentada na Tabela 1.

Tabela 1: Ensaios de caracterização reológicas básicas dos ligantes asfálticos.

Procedimento	Metodologia
Penetração	DNIT 155/2010-ME
Ponto de amolecimento	DNIT 131/2010-ME
Viscosidade Rotacional	ABNT NBR 15184
Envelhecimento a curto prazo	ABNT 15235/09

3.2.4 Ensaio de Penetração

Segundo DNIT (2010), penetração é a profundidade, em décimos de milímetro, que uma agulha de massa padronizada (100g) penetra verticalmente na amostra de material sob condições prefixadas de carga, tempo (5 segundos) e temperatura (25°C).

O procedimento foi realizado para se obter três medidas individuais de penetração, a média é aceita como a diferença entre as medidas desses. A Figura 10 ilustra o equipamento utilizado para a realização desse ensaio.

Os resultados do ensaio de penetração foram obtidos das amostras antes e após o envelhecimento, e determinados pela média de cinco leituras de cada amostra.

Figura 10: Aparelho utilizado para realização do ensaio de penetração.



3.2.5 Ponto de Amolecimento

O ponto de amolecimento é uma medida empírica determinada pela menor temperatura na qual uma esfera metálica passa por um anel, ambos padronizados, preenchido com o material betuminoso e percorre uma determinada distancia, sob condições pré-estabelecidas. É um método desenvolvido para medir a temperatura na qual o asfalto possui uma determinada consistência.

De acordo com DNIT (2010) Neste ensaio, duas bolas de aço com peso e dimensões especificadas são posicionadas no centro de um anel metálico padronizado, cada. O conjunto é colocado dentro de um béquer contendo água à temperatura normal. Aquece-se a água contida no béquer a uma taxa controlada a fim de provocar o amolecimento do ligante asfáltico. Ao amolecer, o ligante não suporta mais o peso da bola, fazendo com que as esferas se desloquem para o fundo do béquer e, ocorrendo isso, anota-se a temperatura na qual as esferas tocam a placa do fundo do conjunto padrão de ensaio. Caso a

diferença de temperatura entre as duas amostras exceda 2°C, tem-se a necessidade de realizar novamente o ensaio.

3.2.6 Viscosidade Rotacional

Segundo ABNT (2004) O ensaio de viscosidade rotacional permite determinar a viscosidade dos ligantes e suas propriedades de consistência. É utilizada nas análises relacionadas com as operações de bombeamento e a estocagem dos ligantes asfálticos. A partir dos dados obtidos neste ensaio foi possível obter-se a curva viscosidade-temperatura.

Utilizou-se um controlador de temperatura, juntamente ao viscosímetro rotacional, o qual permitiu fazer a medição do torque necessário para que a haste de prova (spindle) rodasse ao ser mergulhado no ligante à temperatura, resistência à penetração e ponto de amolecimento já definidos, sob velocidade constante e uniforme. A rotação obtida determinou uma força necessária para vencer a resistência que a viscosidade do material fluido oferece ao movimento rotacional. O ensaio foi realizado nas temperaturas de 135°C, 150°C e 177°C.

3.2.7 Nomenclatura das amostras

Na Tabela 2, encontram-se as amostras utilizadas na pesquisa e suas respectivas nomenclaturas.

Tabela 2: Nomenclatura das amostras da pesquisa.

Amostras	Nomenclatura
Ligante puro convencional	CAP 50/70
CAP 50/70 + 2% óleo de algodão	2% óleo de algodão
CAP 50/70 + 3% óleo de algodão	3% óleo de algodão
CAP 50/70 + 4% óleo de algodão	4% óleo de algodão

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Envelhecimento a curto prazo

As amostras em estudo foram submetidas ao procedimento de envelhecimento a curto prazo-RTFO, objetivando simular o envelhecimento do ligante em campo. A Tabela 3 ilustra os resultados obtidos para a perda de massa do ligante, obtida a partir da comparação da massa antes e após o procedimento.

Tabela 3: Perda de massa após ensaio de envelhecimento a curto prazo (RTFO)

Amostra	Perda de massa (%)
CAP 50/70	0,122
CAP 50/70 + 2% Óleo de Algodão	0,042
CAP 50/70 + 3% Óleo de Algodão	0,026
CAP 50/70 + 4% Óleo de Algodão	0,032
ANP nº 19/2005	≤ 0,500

De acordo com os valores obtidos, verifica-se que a adição de óleo de algodão ao ligante asfáltico permitiu obter perda de massa para os teores em estudo que atendem às especificações da Resolução nº19/2005 da perda em porcentagem ser menor ou igual a 0,500 % da Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), o que não ocorreu para o valor do CAP puro, pois o valor foi em desacordo com o especificado pela norma.

4.2 Ensaio de Penetração

Este parâmetro está diretamente relacionado à propriedade de rigidez do pavimento. Os resultados obtidos estão ilustrados na Figura 12.

Figura 11: Ensaio de penetração retida.

Amostra	Penetração (dmm)	Penetração após RTFO (dmm)
CAP 50/70	63,1	46,8
CAP 50/70 + 2% Óleo de Algodão	107,7	72,0
CAP 50/70 + 3% Óleo de Algodão	110,4	71,6
CAP 50/70 + 4% Óleo de Algodão	150,0	82,0
ANP nº 19/2005	-	-

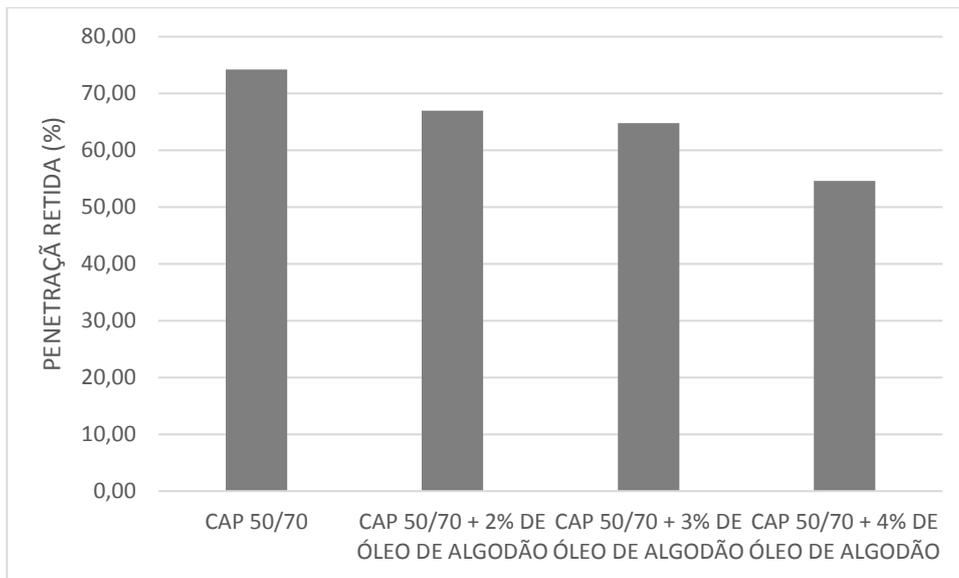
A resolução nº 19 da Agência Nacional de Petróleo - ANP (2005) estabelece uma faixa de classificação para os valores da penetração dos ligantes CAP 50/70, 50 a 70 décimos de milímetro.

De acordo com os resultados obtidos, verifica-se que, a adição do óleo de algodão promoveu a redução do valor da penetração antes e após o envelhecimento, ou seja, a modificação do ligante gerou um aumento da consistência, conseqüentemente, houve uma elevação da sua dureza, o que torna o ligante mais resistente.

Souza (2012), Cavalcanti (2015), Portugal (2016) e Ziegler (2017), verificaram em seus estudos que também ocorreu um aumento da penetração com a adição de agentes modificadores oleicos.

A Figura 13 ilustra os resultados obtidos para a penetração retida para o ligante em estudo antes e após envelhecimento a curto prazo-RTFO.

Figura 12: Penetração retida para o ligante em estudo antes e após envelhecimento a curto prazo-RTFO.

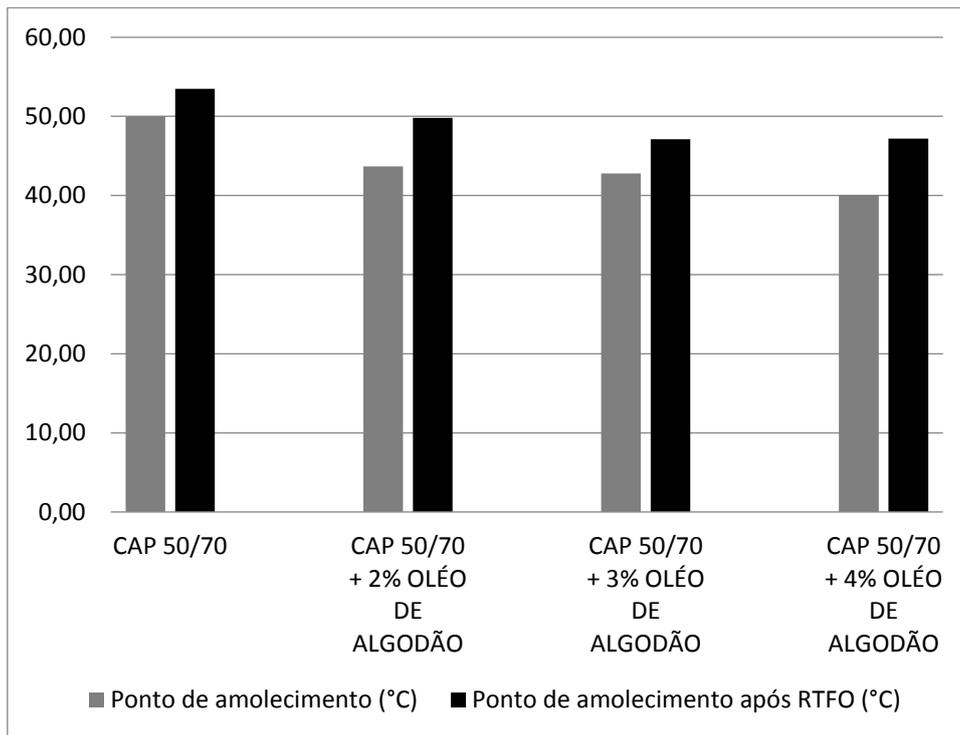


De acordo com os resultados obtidos para a penetração retida pode-se verificar a sensibilidade do ligante ao envelhecimento, indicando que quanto maior for a porcentagem de penetração retida (PPR) menor será a sensibilidade ao envelhecimento. Conforme Resolução ANP Nº 19/2005 esse parâmetro deve apresentar um mínimo de 75%. Assim, verificou-se que para os percentuais em estudo obteve-se resultados que satisfazem aos parâmetros normativos.

4.3 Ponto de Amolecimento

A Figura 14 apresenta os resultados obtidos no ensaio de ponto de amolecimento para o ligante puro, CAP 50/70, e para os ligantes modificados com adição de óleo de algodão. Esse parâmetro relaciona-se à manutenção das propriedades do ligante a altas temperaturas e ao aumento da resistência à deformação permanente.

Figura 13: Ensaio do ponto de amolecimento

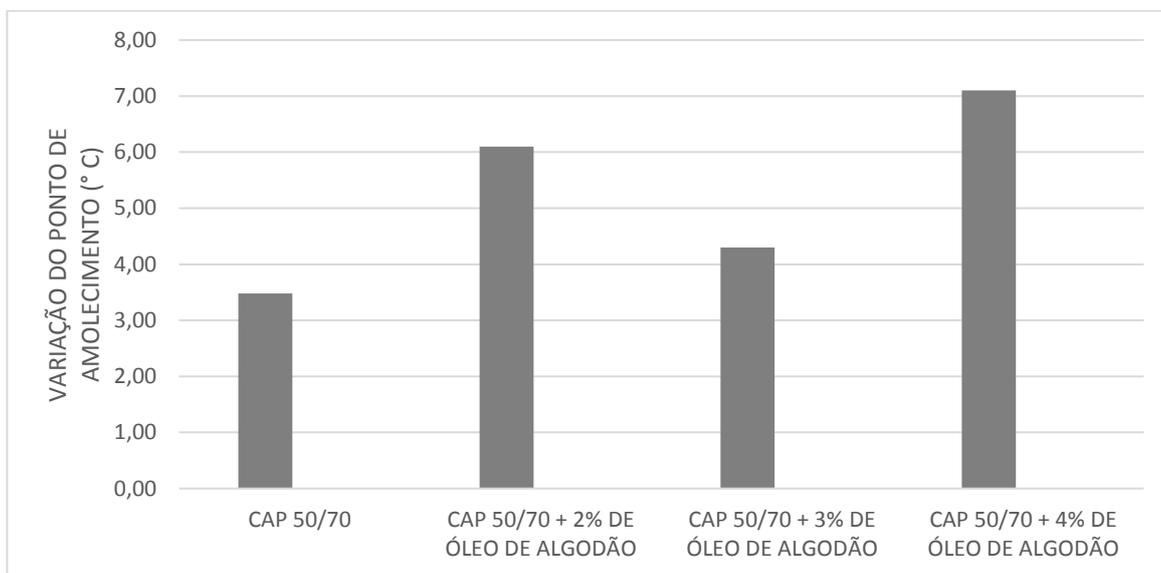


Conforme valores obtidos verificou-se que houve uma tendência de diminuição nas temperaturas de ponto de amolecimento à medida que eram acrescidos os teores de óleo de algodão, tornando as propriedades dos ligantes menos sensível às temperaturas mais elevadas.

De acordo com a resolução da ANP nº 19 /2005, o limite mínimo para os valores de ponto de amolecimento para o CAP 50/70 é de 46°C na condição normal. Deste modo, os ligantes modificados por adição do óleo de algodão apresentaram valores que atendem ao limite estabelecido para as condições antes e após o processo de envelhecimento a curto prazo.

A norma DNIT 95/2006 – EM estabelece que após o procedimento RTFO, a variação do ponto de amolecimento não deve ultrapassar um máximo de 8°C quando comparado ao ligantes antes do envelhecimento a curto prazo. A Figura 15 ilustra a variação desse parâmetro e observa-se que todas as amostras em estudo se enquadram dentro do valor estabelecido.

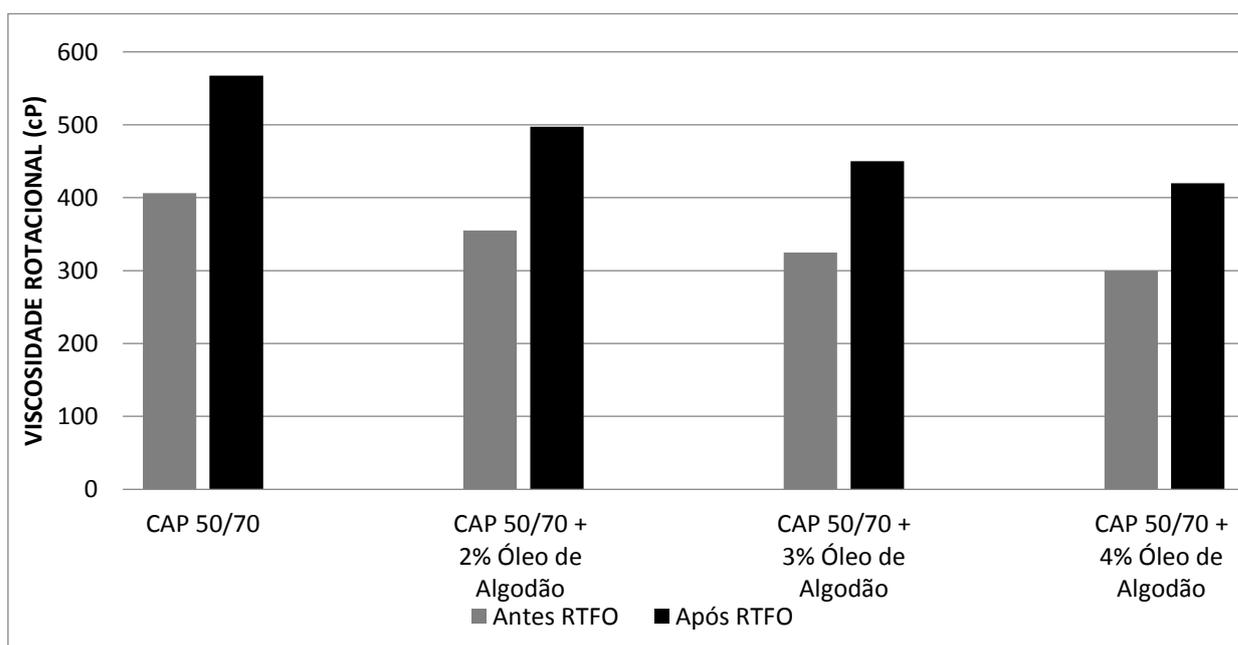
Figura 14: Variação do ponto de amolecimento



4.4 Viscosidade Rotacional

A viscosidade do ligante está relacionada a capacidade de envolver os agregados da mistura e melhorar a trabalhabilidade em campo, com um destaque para a determinação das temperaturas de usinagem e compactação. Deste modo, o conhecimento desse parâmetro é de grande relevância, visto que a elevada viscosidade requer altas temperaturas na etapa da pavimentação.

Figura 15: Viscosidade rotacional à 135°C antes e após RTFO.

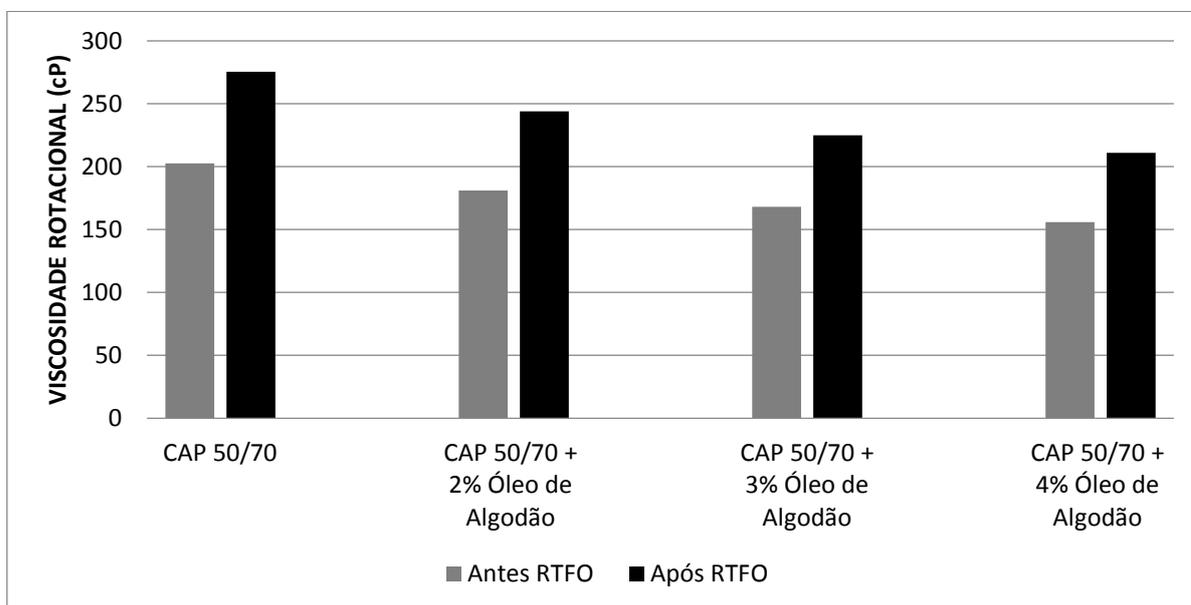


A Resolução ANP nº 19/2005, determina limites mínimos para os valores de viscosidade do ligante asfáltico em todas as temperaturas, em 135°C é de 274 cP.

Conforme resultados obtidos, verifica-se que todas as amostras atenderam as classificações. Para o CAP 50/70 puro, observou-se que apresentou viscosidade superior aos ligantes com adição de óleo de algodão, isto é um indicativo de sua elevada viscosidade, ou seja, baixa fluidez em comparação com os materiais modificados, observou-se que o aumento do teor de adição de óleo de algodão promoveu gradativamente a redução da penetração.

O aumento excessivo da viscosidade pode influenciar na trabalhabilidade do material, segundo Masce *et al.* (2017) valores elevados poderão provocar um revestimento não uniforme do agregado. E Yan *et al.* (2016) também explicam que viscosidades muito elevadas dificultam na trabalhabilidade e bombeamento durante a mistura com os agregados na construção de pavimentos.

Figura 16: Viscosidade rotacional à 150°C antes e após RTFO.

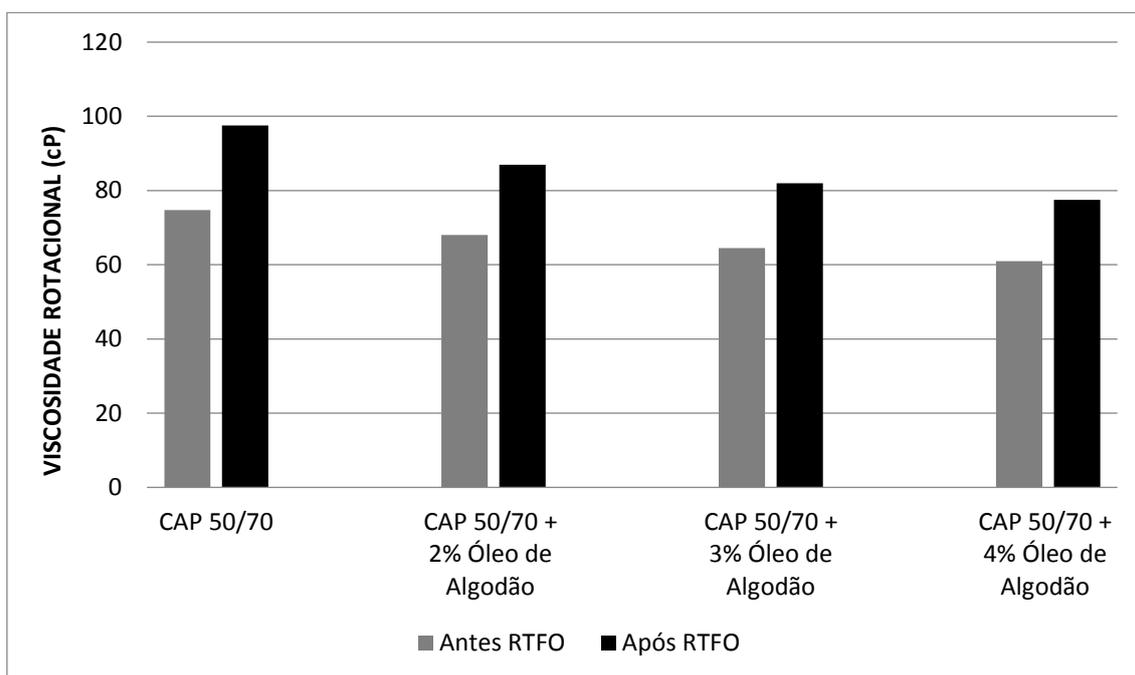


A Resolução ANP nº 19/2005, determina limites mínimos para os valores de viscosidade do ligante asfáltico em todas as temperaturas, em 150°C é de 112 cP.

Conforme resultados obtidos, verifica-se que todas as amostras atenderam as classificações. Para o CAP 50/70 puro, observou-se que

apresentou viscosidade superior aos ligantes com adição de óleo de algodão, isto é um indicativo de sua elevada viscosidade, ou seja, baixa fluidez em comparação com os materiais modificados, observou-se que o aumento do teor de adição de óleo de algodão promoveu gradativamente a redução da penetração.

Figura 17: Viscosidade rotacional à 177°C antes e após RTFO.



A Resolução ANP n° 19/2005, determina limites mínimos para os valores de viscosidade do ligante asfáltico em todas as temperaturas, em 177°C é de 57 cP.

Conforme resultados obtidos, verifica-se que todas as amostras atenderam as classificações. Para o CAP 50/70 puro, observou-se que apresentou viscosidade superior aos ligantes com adição de óleo de algodão, isto é um indicativo de sua elevada viscosidade, ou seja, baixa fluidez em comparação com os materiais modificados, observou-se que o aumento do teor de adição de óleo de algodão promoveu gradativamente a redução da penetração.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

5.1 Considerações Finais

Com os resultados do ensaio de penetração, foi possível concluir que a adição do óleo de algodão ao ligante asfáltico, aumentou a consistência e conseqüentemente a dureza do mesmo, considerando que houve uma redução da penetração antes e após RTFO.

A partir do ensaio do ponto de amolecimento ficou evidente que quanto maiores os teores de óleo de algodão no ligante, este se tornou menos sensível a altas temperaturas, levando em consideração o fato de que às propriedades do ligante foram mantidas a altas temperaturas.

Para os ensaios de viscosidade rotacional, foi observável que para todas as temperaturas avaliadas, houve diminuição gradativa da sua viscosidade do ligante, na mesma medida que ocorreram os aumentos dos teores de óleo de algodão deste, o que permite que se note a ocorrência de diminuição progressiva da penetração, e também melhoria da envolver os agregados da mistura e da trabalhabilidade em campo.

5.2 Sugestões para pesquisas futuras

Para melhor abordagem sobre o conteúdo tratado nessa pesquisa, sugere-se realizar os seguintes estudos adicionais:

- Avaliar as propriedades reológicas dos ligante modificado por adição de óleo de algodão antes e após envelhecimento a curto prazo;
- Estudar a interferência da adição do óleo de algodão nas propriedades mecânicas de misturas asfálticas;

REFERÊNCIAS

ANDERSON, R. M.; BAUMGARDNER, G.; MAY, R.; REINKE, G. **Engineering properties, emissions, and field performance of warm mix asphalt technologies**. NCHRP PROJECT 9-47. Transportation Research Board of The National Academies. Washington D.C., 2008.

AUSTROADS. **Review of overseas trials of warm mix asphalt pavements and current usage by Austroads members**, AP-T215-12, Austroads, Sydney, 2012.

BARDINI, Vivian Silveira dos Santos et all. **A importância do filer para o bom desempenho de misturas asfálticas**. Minerva, SP, 2010.

BELTRÃO, N. E. M.; PEREIRA, J. R. A. **Semente do Algodoeiro I. Uso "In Natura" na Alimentação Animal**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2000.

BERNUCCI, Liedi Bariani et all. **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros**. Rio de Janeiro: PETROBRAS: ABEDA, 2008. 504 f.: il.

BRINGEL, R. M. **Estudo Químico e Reológico de Ligantes Asfálticos Modificados por Polímeros e Aditivos**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. 2007.

CARVALHO, Jeovanesa Régis et all. **Estudo das propriedades mecânicas de misturas asfálticas contendo ligante asfáltico com adição de óleo de girassol**. 32º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte da ANPET, Gramado, 2018.

COÊLHO, Jackson Dantas. **Produção de algodão**. Caderno Setorial ETENE, ano 3, nº 26, março, 2018.

Companhia nacional de abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira**, v.6 – Safra 2018/19 – N.8 – Oitavo levantamento, Maio, 2019.

FABIANO, Alexandre Ramos. **Produção de óleo vegetal de algodão com processo misto**. Projeto de conclusão de curso. Instituto Municipal de Ensino Superior de Assis, Assis, 2012.

FAXINA, Adalberto Leandro et all. **Avaliação do efeito de ligantes asfálticos modificados na resistência à deformação permanente de misturas asfálticas densas**. Transportes v.21, n.3, p.14-21, 2013.

FAXINA, Adalberto Leandro. **Estudo da viabilidade técnica do uso do resíduo de óleo de xisto como óleo extensor em ligantes asfalto-borracha**. 2006. 311 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes). Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

FERNANDES, Paulo Roberto Nunes, et al. **Avaliação de ligante asfáltico brasileiro processado na unidade de negócios da petrobrás-lubnor puro e modificado com ácido polifosfórico**, 2007.

JUNIOR, Morilha Armando. **Estudo sobre a ação de modificadores no envelhecimento dos ligantes asfálticos e nas propriedades mecânicas e de fadiga das misturas asfálticas**. Dissertação de mestrado apresentada ao projeto de pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, 2004.

JÚNIOR, Pedro Orlando Borges De Almeida. **Comportamento mecânico de concretos asfálticos com diferentes granulometrias, ligantes e métodos de dosagem**. Dissertação de mestrado apresentada ao projeto de pós-graduação em engenharia civil da Universidade Federal de Santa Maria, 2016.

JUNIOR MORILHA, Armando. **Estudo sobre a ação de modificadores no envelhecimento dos ligantes asfálticos e nas propriedades mecânicas e de fadiga das misturas asfálticas**. Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, 2004.

MEDINA, J. MOTTA, L.M.G. **Mecânica dos pavimentos**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2005.

MOURA, Edson De. **A importância do filer para o bom desempenho de misturas asfálticas**. Tese de doutorado apresentada à escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2010.

MOTHÉ, Michelle Gonçalves. **Estudo do Comportamento de Ligantes Asfálticos por Reologia e Análise Térmica**. Dissertação de mestrado, Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2009.

NASCIMENTO, T. C. B. **Efeito dos envelhecimentos termo-oxidativo e foto-oxidativo sobre propriedades reológicas de ligantes asfálticos modificados**. 2015. 274 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015.

NASCIMENTO, Thalita Cristina Brito; FAXINA, Adalberto Leandro. **Avaliação dos efeitos da radiação ultravioleta sobre propriedades reológicas de ligantes asfálticos modificados com PPA e copolímeros SBS e SBR**. Transportes v.25, n.1, p. 73-81, 2017.

PORTUGAL, Antônio Carlos. **Avaliação reológica de cimentos asfálticos de petróleo modificados com óleo de soja e de milho**. Dissertação de mestrado em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Campina Grande, 2016.

PUTTI, Fernando Ferrari. **Análise da viabilidade da produção de Biodiesel a partir do uso do algodão**. VIII Fórum Ambiental da Alta Paulista, v.8, n.7, 2012, p. 127-142.

SILVA, Letícia Socal Da. **Contribuição ao estudo do envelhecimento de ligantes asfálticos. Influência da adição de polímeros e comportamento frente a radiação UV**. Tese de doutorado em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005.

SOBREIRO, Fernanda Pilati. **Efeito da adição de ácidos fosfóricos no comportamento reológico de ligantes asfálticos puros e modificados com copolímero SBS**. Tese de doutorado em Engenharia de Transportes, Universidade de São Paulo, 2014.

SPECHT, Luciano Pivot et all. **Determinação das propriedades térmicas de concretos asfálticos com diferentes tipos de ligantes**. Revista Tecnol. Fortaleza, v. 29, n. 2, p.198-210, dez. 2008.

SUZARTE, Elias; VINICIO Eduardo. **Usos do Óleo de Algodão na Área de Saúde**. Cadernos de Prospecção v.1, n.1, p. 24-25, 2008.

YILDIRIM, Y. **Polymer Modified Asphalt Binders**. Construction and Building Materials, v. 21, p. 66- 72, 2007.