

## ESTUDO DAS PROPRIEDADES QUÍMICAS DO LIGANTE ASFÁLTICO CAP 50/70 MODIFICADO POR ADIÇÃO DE LIGNINA PROVENIENTE DE PINUS E EUCALIPTO

Fllávio Marcell dos Santos Lucena <sup>1</sup>  
Raabi Inarair Ferreira Braz <sup>2</sup>  
Paula Almeida Aguiar <sup>3</sup>  
Ana Maria Gonçalves Duarte Mendonça <sup>4</sup>

### RESUMO

A modificação de ligantes asfálticos é uma prática que visa aumentar a resistência às deformações permanentes, como 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. Assim, este trabalho tem o objetivo de estudar a modificação do ligante asfáltico 50/70 por dois tipos de lignina, provenientes de espécies diferentes, folhosa (Pinus) e coníferas (Eucalipto), nos teores de 3%, 6% e 9%. Nesta pesquisa foram realizados o procedimento de envelhecimento RTFO e o ensaio químico FTIR. Os resultados indicaram que a incorporação da lignina ao CAP 50/70 pode reduzir o processo de envelhecimento, através da redução da oxidação do ligante, principalmente no teor de 6% de lignina de Eucalipto, porém é necessário a realização de outros ensaios químicos que atestem as indicações verificadas neste trabalho. Dessa maneira, a utilização desse polímero natural pode ser uma alternativa viável para o aproveitamento do excedente de lignina das indústrias de papel e celulose, evitando o descarte inadequado no meio ambiente, como também, economicamente por poder substituir uma porcentagem em peso do ligante utilizado na pavimentação, gerando uma fonte de renda extra para as indústrias produtoras de papel e celulose, além de ser utilizada no lugar de polímeros sintéticos com custos elevados.

**Palavras-chave:** Propriedades químicas, Modificação do ligante asfáltico, Oxidação do ligante asfáltico, Ensaio químico FTIR.

### INTRODUÇÃO

As rodovias são responsáveis pela integração econômica das diferentes regiões do território brasileiro e constituem um dos principais sistemas de transporte utilizado para o escoamento de produções e cargas, além da circulação e deslocamento de pessoas. Logo, essa infraestrutura necessita constantemente de avaliação e renovação devido a degradação dos pavimentos, especialmente pavimentos asfálticos, garantindo que as rodovias sejam mantidas

<sup>1</sup> Graduado pelo Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, [flaviolucna@gmail.com](mailto:flaviolucna@gmail.com);

<sup>2</sup> Graduada pelo Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, [almeidaaguiarpaula@gmail.com](mailto:almeidaaguiarpaula@gmail.com);

<sup>3</sup> Graduada pelo Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, [raabifb@gmail.com](mailto:raabifb@gmail.com);

<sup>4</sup> Professora orientadora: Doutora pelo Curso de Engenharia de Materiais da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, [ana.duartemendonca@gmail.com](mailto:ana.duartemendonca@gmail.com).

em condições adequadas de uso, evitando acidentes e assegurando conforto e segurança aos usuários.

Dentro desse contexto, é imprescindível a busca por soluções e o desenvolvimento de tecnologias que melhorem a durabilidade e o desempenho da capa asfáltica, a partir de estudos com os materiais que constituem o revestimento asfáltico, com objetivo de melhorar as características do produto final. No que se refere ao Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP), vários estudos vêm sendo realizados, principalmente com a adição de modificadores poliméricos (BRINGEL, 2007; FERNANDES, 2009; SOBREIRO, 2014; ROSA JÚNIOR, 2015; NASCIMENTO, 2015), buscando o aprimoramento das propriedades químicas, reológicas e mecânicas dos ligantes convencionais (SOBREIRO, 2014).

A utilização de polímeros no ligante asfáltico proporciona o aumento da resistência às deformações permanentes, trincas ocasionadas por fadiga ou por variações térmicas. Os polímeros mais comumente utilizados em estudos para a modificação de ligantes asfálticos são o SBS (copolímero de estireno-butadieno-estireno, EVA (copolímero de etileno-acetato de vinila), SBR (borracha de estireno-butadieno), polietileno e borracha de pneu moído (BERNUCCI *et al.*, 2008).

Associado à procura por modificadores de ligantes asfálticos, destaca-se o conceito de sustentabilidade, impulsionando pesquisas com a utilização de modificadores naturais (óleos vegetais de canola, mamona, linhaça, algodão, dendê, soja, milho e moringa) e reaproveitados de processos industriais (fibras de biomassa, lodos, asfalto natural e enxofre), além de estudos recentes com lignina (DIAS, 2014; BATISTA, 2017; SANTOS, 2017).

A lignina é um dos principais componentes macromoleculares da madeira, constituinte da parede celular, que representa cerca de 16 a 30 % da massa seca, dependendo da espécie vegetal, sendo o segundo material mais abundante no reino vegetal depois da celulose (KLOCK *et al.*, 2013). É um polímero natural, formado principalmente por unidades aromáticas de fenilpropano, composto por moléculas tridimensionais amorfas, sendo responsável por conferir rigidez, impermeabilidade e resistência mecânica aos tecidos vegetais, além de resistir a ataques de microrganismos (SANTOS, 2008).

Desta forma, levando em consideração as propriedades conferidas pela lignina ao tecido vegetal, agindo como um agente antioxidante, a lignina demonstra grande potencial como modificador, podendo melhorar o desempenho do ligante puro, potencializando suas propriedades reológicas e agindo como um retardante do envelhecimento oxidativo do ligante asfáltico (SANTOS, 2008).

Assim, este trabalho tem como objetivo principal estudar o efeito da adição de lignina de diferentes espécies vegetais, Pinus e Eucalipto, nas propriedades químicas do ligante asfáltico CAP 50/70, nas condições normal e envelhecida.

## **METODOLOGIA**

Os materiais utilizados para a realização deste trabalho foram: Cimento Asfáltico de Petróleo – CAP 50/70 e amostras de lignina extraída de madeiras de Eucalipto e Pinus.

Para o desenvolvimento deste trabalho foram utilizadas amostras de ligantes puro (CAP 50/70) e modificados com lignina, produzidas por Luz (2019) em sua pesquisa. A modificação do CAP 50/70 puro, ocorreu através da mistura do ligante puro com teores, em peso, de 3%, 6% e 9% de lignina extraída do Pinus e do Eucalipto. A mistura do ligante asfáltico com os teores de lignina das espécies vegetais supracitadas foi realizado em agitador mecânico FISATOM modelo 722. Os parâmetros utilizados para a produção das misturas foram definidos de acordo com Santos (2017), onde foram utilizados uma rotação de 2000 rpm, em um intervalo de 30 minutos, a uma temperatura de  $160^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ .

A simulação do envelhecimento a curto prazo do ligantes foi realizada através do ensaio com a estufa de filme fino rotativo (RTFO). O ensaio avalia o envelhecimento do ligante asfáltico por oxidação e evaporação pelo efeito de calor e ar sobre uma película de material asfáltico em movimento e foi executado conforme a ABNT NBR 15235/2009, com o asfalto convencional e os modificados com os teores de lignina supracitados. Uma fina película de asfalto de 35g, previamente aquecida, é continuamente girada dentro de um recipiente de vidro a  $163^{\circ}\text{C}$  por 85 minutos, submetidas a aplicação de injeções de ar a cada 3 a 4 segundos. Os efeitos do calor e do ar são determinados a partir de alterações nos valores das análises físicas, medidos antes e depois do tratamento na estufa.

Após incorporação da lignina de Pinus e de Eucalipto nos teores de 3%, 6% e 9%, conforme o procedimento de mistura, foi realizada a análise da composição química dos ligantes puro e modificados, antes e após o envelhecimento a curto prazo, por meio do ensaio de espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR), para analisar a composição química das amostras e as alterações no comportamento dos grupos funcionais, assim, como dos compostos resultantes do processo de oxidação dos ligantes.

Os espectros obtidos para os ligantes puro e modificados, antes e após o envelhecimento, foram provenientes de análise em um espectrômetro BRUKER, modelo FTIR VERTEX 70. A

faixa considerada no ensaio foi de 500 a 4000  $\text{cm}^{-1}$  no módulo de refletância total atenuada (ATR), com resolução de 4  $\text{cm}^{-1}$  e 16 varreduras.

## DESENVOLVIMENTO

No Brasil, os asfaltos obtidos a partir de processos de refinamento do petróleo cru que se enquadram em limites de consistência para determinadas temperaturas, estabelecidas nas especificações da Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustível (ANP), são designados como Cimentos Asfálticos de Petróleo (CAP). O CAP apresenta comportamento semissólido à baixas temperaturas, viscoelástico à temperatura ambiente e líquido à altas temperaturas (SANTOS, 2017).

O CAP, como material ligante ou aglutinante, possui geralmente boa aderência aos agregados, além de apresentar propriedades impermeabilizantes, o que torna propício o seu uso em obras de pavimentação. A ligação entre os agregados, proporcionada pela sua função aglutinante, viabiliza uma mistura asfáltica capaz de resistir à ação mecânica de desagregação produzida pela ação do tráfego. Enquanto as suas propriedades impermeabilizantes garantem o impedimento da penetração de água no pavimento, reduzindo o efeito de deterioração da estrutura do pavimento (SOBREIRO, 2014).

A composição química dos ligantes asfálticos determina as propriedades físicas, mecânicas e reológicas do ligante e está condicionada a origem do petróleo cru, ao processo de refino e ao envelhecimento desde a usinagem e quando em serviço.

Segundo Santos (2017) uma técnica que vem sendo utilizada para a análise da composição química dos ligantes asfálticos é a Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR). Este método permite analisar várias funções orgânicas presentes no ligante, entre elas grupos funcionais característicos de processos oxidativos com cetonas, alcoóis, ácidos carboxílicos, aldeídos e outros compostos contendo carbonila ( $\text{C}=\text{O}$ ), sendo um procedimento que não requer grandes quantidades de amostra, realizado de forma rápida e com baixos custos (LIMA et al., 2004).

A técnica é baseada na aplicação de um feixe de radiação eletromagnética, formado de vários comprimentos de onda, onde os compostos químicos orgânicos presentes na amostra os absorvem a radiação em faixas de comprimentos de onda variadas, relacionados com as substâncias puras conhecidas e grupos funcionais, e são identificados através de sua transmitância (PORTUGAL, 2016).

A análise do nível de interação molecular e das ligações químicas do ligante asfáltico no FTIR é realizada com base na intensidade das bandas do espectro, representados graficamente como transmitância e absorvância, e no posicionamento dos comprimentos de onda (LUCENA., 2005). A Tabela 01 identifica os números de ondas referentes aos principais grupos funcionais presentes no ligante asfáltico.

Tabela 01 – Tabela de correlação simplificada dos grupos funcionais presentes nos ligantes asfálticos.

Assinatura de banda	Número de onda (cm <sup>-1</sup> )
Deformação angular <i>rocking</i> de (CH <sub>2</sub> ) <sub>n</sub> , n > 4	724
Dobramentos de C-H em aromáticos substituídos	743, 810 e 868
Estiramento de S=O (Sulfóxidos)	1032
Estiramento de SO <sub>2</sub>	1310
Deformação angular de CH <sub>3</sub>	1374
Deformação angular de CH <sub>2</sub> , CH <sub>3</sub>	1460
Estiramento de C=C (Aromáticos)	1609
Estiramento de C=O (Carbonilas)	1703
Estiramento de C-H (CH <sub>2</sub> )	2851
Estiramento de C-H (CH <sub>3</sub> )	2924
Estiramento de O-H	3455

Fonte: Adaptado de Bringel, 2007.

Durante a usinagem, aplicação e quando em serviço, o ligante endurece devido a temperaturas elevadas nas duas primeiras situações e, principalmente, ao processo oxidativo que ocorre nos três casos. Evidenciando, assim, os mecanismos mais relevantes no processo de envelhecimento dos ligantes: a perda de componentes voláteis (saturados e aromáticos) e a oxidação do asfalto (MORILHA JUNIOR, 2004).

Ensaio de envelhecimento acelerado são usados para tentar simular o envelhecimento sofrido pelo ligante na usinagem. O *Rolling Thin Film Oven* (RTFO) ou película delgada rotacional mede o envelhecimento por oxidação e evaporação, sendo o seu resultado expresso através da verificação da perda de massa do ligante, conforme a ABNT NBR 15235/2009. Nesse ensaio, uma película delgada de ligante de 35g é constantemente rotacionada dentro de um recipiente de vidro a 163°C por 85 minutos, sendo aplicada uma injeção de ar a cada 3 a 4 segundos.

Devido a sua propriedade de inibir o processo de oxidação, oxidando-se preferencialmente, a lignina vem sendo pesquisada como aditivo ao ligante asfáltico, obtendo-

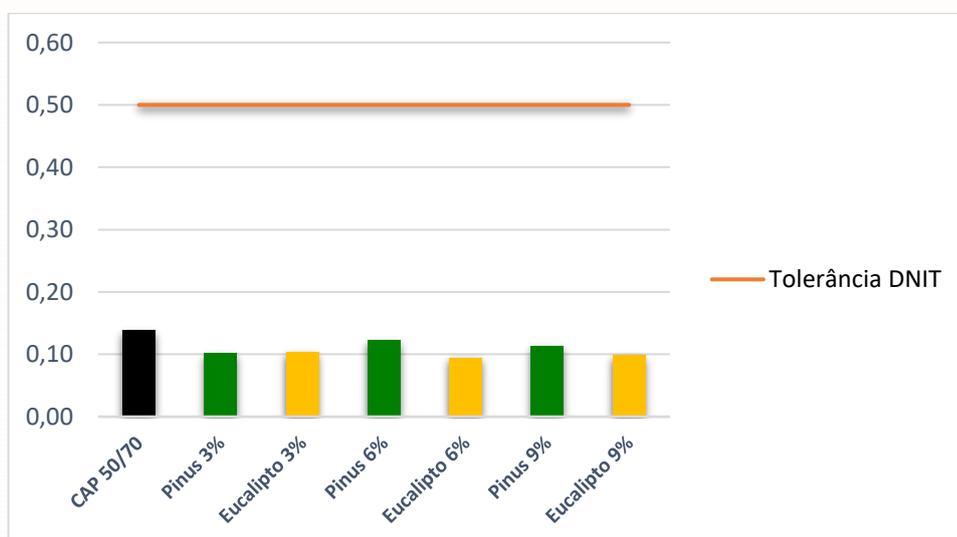
se resultados promissores no que se refere ao aumento da resistência a deformações plásticas das misturas asfálticas (BATISTA, 2017).

A lignina, constituinte da parede celular das células vegetais, representa cerca de 16 a 30% da massa seca da madeira, dependendo da espécie vegetal, sendo o segundo material mais abundante no reino vegetal depois da celulose (KLOCK *et al.*, 2013). É um polímero natural, constituído principalmente por unidades aromáticas de fenilpropano, sendo responsável por conferir rigidez, impermeabilidade e resistência mecânica aos tecidos vegetais, além de resistir a ataques de microrganismos (SANTOS, 2008).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O envelhecimento simulado pelo ensaio com a estufa de filme fino rotativo (RTFO), permite avaliar o processo oxidativo do ligante asfáltico provocado pela usinagem, aplicação e compactação da mistura asfáltica. A Figura 01 expressa os resultados obtidos para as variações de perda de massa (%) dos ligantes puro e modificados com a lignina Pinus e Eucalipto após o envelhecimento.

Figura 01 – Perda de massa após RTFO.



Os valores encontrados para os ligantes analisados enquadram-se nos critérios estabelecidos pela norma DNIT- ME 095/2006 e pela Resolução ANP n° 19/2005 que limitam essa perda de massa a variações que devem ser inferiores a 0,5%.

As amostras analisadas demonstraram uma redução de até 0,04% da perda de massa para as amostras modificadas com lignina 6% Eucalipto e 3% Pinus, o que pode indicar um

acréscimo na resistência a susceptibilidade dos ligantes modificados ao envelhecimento causada pela presença da lignina presente nas amostras.

A análise da espectroscopia dos ligantes puro e modificados por lignina de Pinus e Eucalipto nos teores de 3%, 6% e 9% através do ensaio de FTIR, foi utilizada caracterizar quimicamente as amostras através da identificação dos grupos funcionais presentes nos ligantes e avaliar as alterações sofridas pelos compostos devido a modificação com a adição de lignina. As Figuras 02 e 03 apresentam os resultados obtidos para o ligante puro e modificado com lignina Pinus e Eucalipto nos teores supracitados, antes do envelhecimento.

Figura 02 - Espectro dos ligantes puro e modificados com Lignina Pinus.

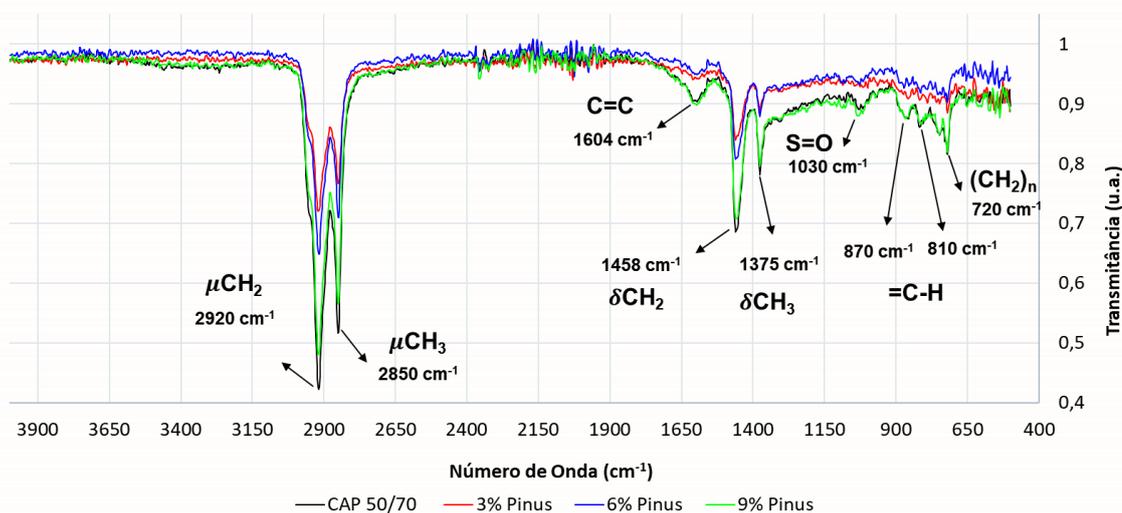
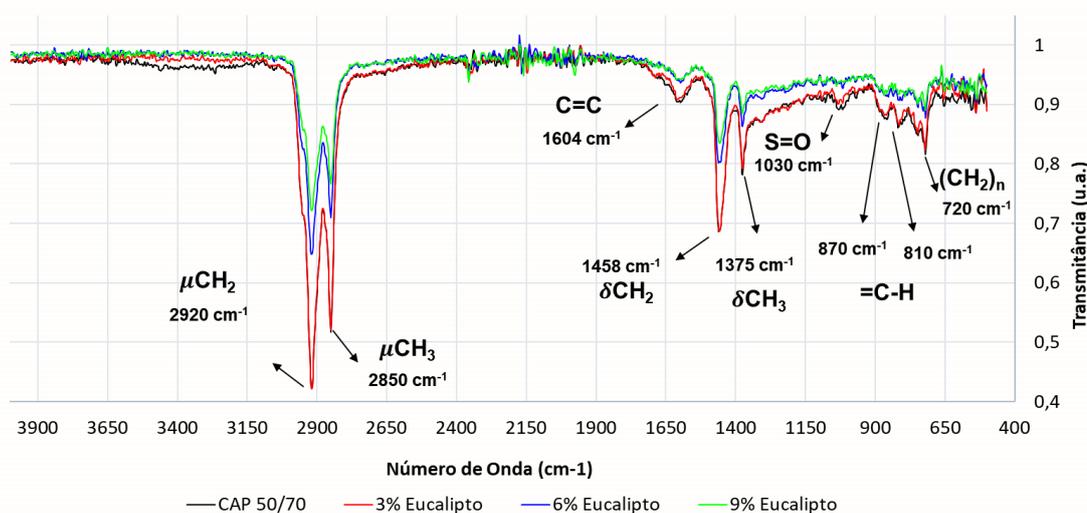
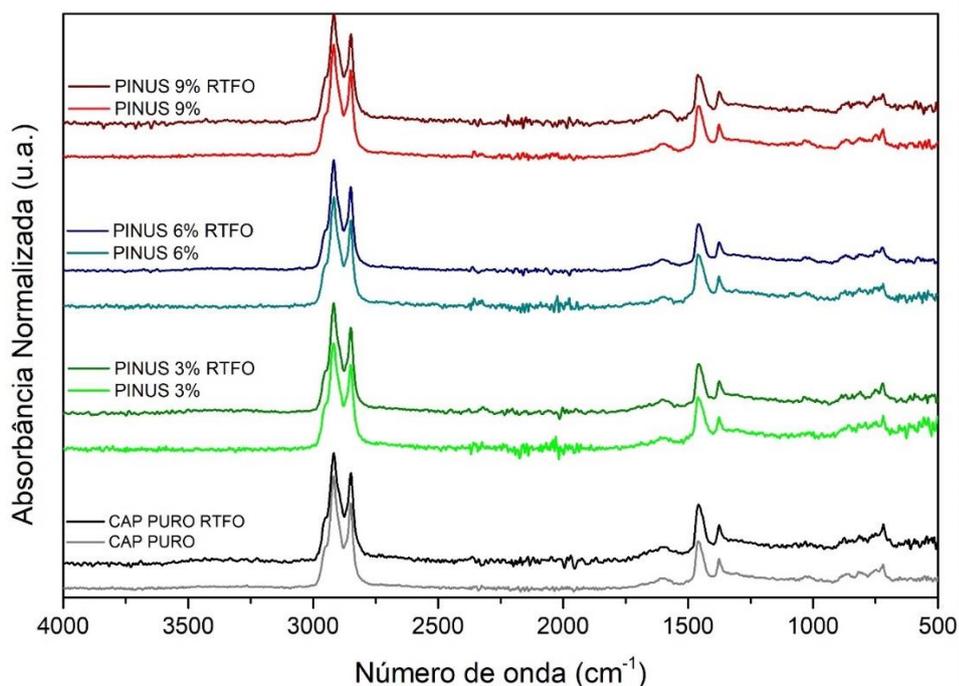


Figura 03 - Espectro dos ligantes puro e modificados com Lignina Eucalipto.



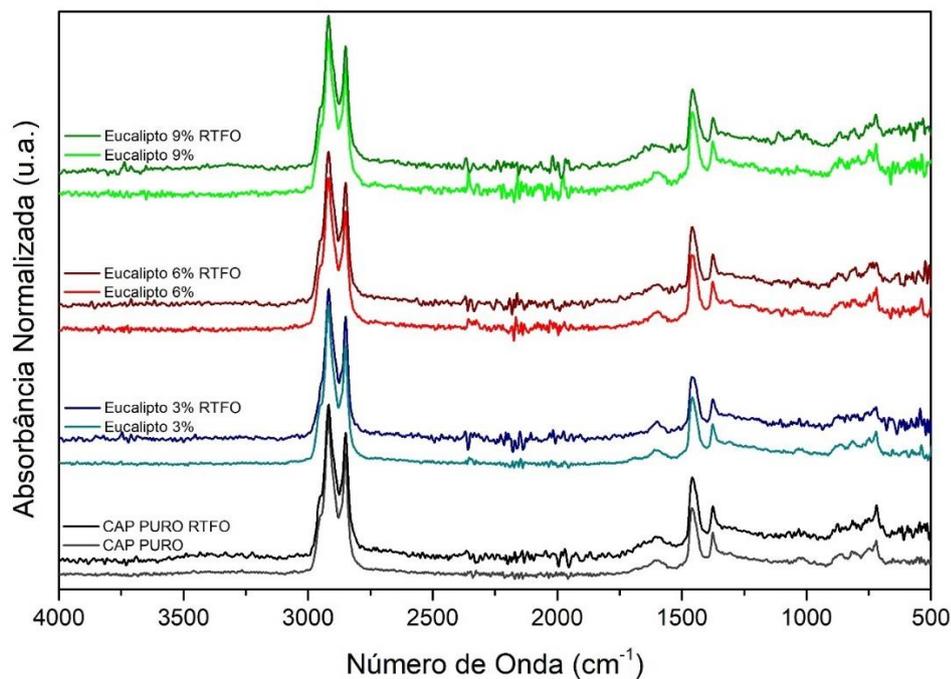
Verificou-se através da análise dos o espectro de FTIR do CAP puro e com adições de lignina de Pinus e Eucalipto, que não houveram variações quanto aos grupos funcionais identificados, antes do envelhecimento através do RTFO, e apresentaram as seguintes bandas características: um duplete em  $2920\text{ cm}^{-1}$  e  $2850\text{ cm}^{-1}$  indicando vibrações de estiramentos axiais simétricos e assimétricos de grupos  $\text{CH}_2$  e  $\text{CH}_3$  (alifático); banda em  $1604\text{ cm}^{-1}$  indicando vibrações de estiramento do grupo  $\text{C}=\text{C}$  em anéis aromáticos; as bandas em  $1458\text{ cm}^{-1}$  e  $1375\text{ cm}^{-1}$ , são relativas às deformações angulares dos grupos,  $\text{CH}_2$  e  $\text{CH}_3$ ; a banda em torno de  $1030\text{ cm}^{-1}$  associada a  $\text{S}=\text{O}$  de grupos sulfóxidos; as bandas em  $870$  e  $810\text{ cm}^{-1}$  indicam dobramentos de grupos  $=\text{C}-\text{H}$  em anéis aromáticos, e banda em  $720\text{ cm}^{-1}$  indicando deformação do tipo rocking para cadeias de  $(\text{CH}_2)_n$  com  $n \geq 4$ . As Figuras 04 e 05 apresentam os resultados obtidos para o ligante puro e modificado com lignina Pinus e Eucalipto, respectivamente, após o envelhecimento.

Figura 04 - Espectro dos ligantes puro e modificados com Lignina Pinus antes e após o RTFO.



Verificou-se através dos o espectro de FTIR ilustrados nas Figuras 04 e 05, do CAP puro e com adições de lignina de Pinus e Eucalipto baixa variação da intensidade da transmitância nas bandas  $1730\text{ cm}^{-1}$  do grupo carbonila ( $\text{C}=\text{O}$ ) e  $1030\text{ cm}^{-1}$  do grupo dos sulfóxidos, ligados ao processo de oxidação, entre os espectros dos ligantes puro e modificados com lignina, antes e após o envelhecimento a curto prazo

Figura 05 - Espectro dos ligantes puro e modificados com Lignina Eucalipto antes e após o RTFO.



Entretanto notou-se o aumento da variação de intensidade nas bandas 1738 cm<sup>-1</sup> e 1716 cm<sup>-1</sup> referentes a deformações axiais dos grupos funcionais de ácidos carboxílico e cetonas, respectivamente, e entre as bandas 3600 cm<sup>-1</sup> e 3100 cm<sup>-1</sup> referente a deformações axiais de carboxilas, no espectro do CAP 50/70 puro após o RTFO, ilustrados nas ampliações da Figuras 06 e 07.

Figura 06 – Espectro ampliado nas bandas 1738 cm<sup>-1</sup> e 1716 cm<sup>-1</sup> do ligante puro CAP 50/70 antes e após o RTFO.

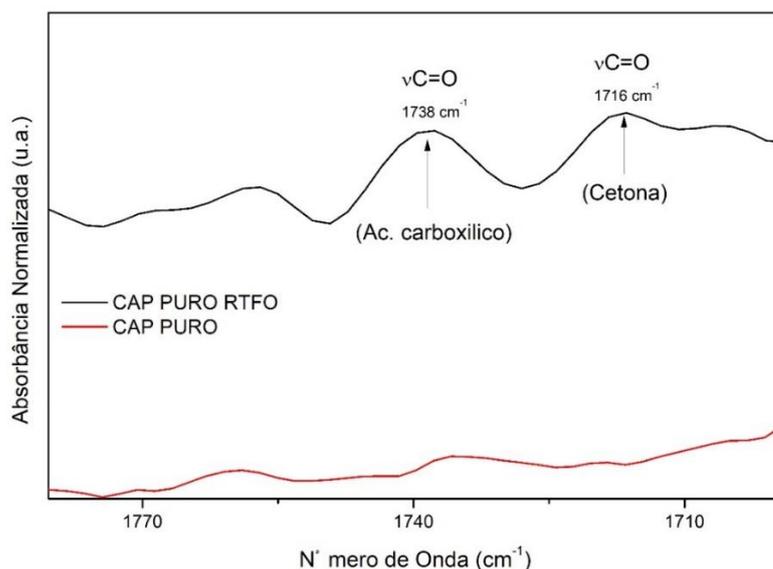
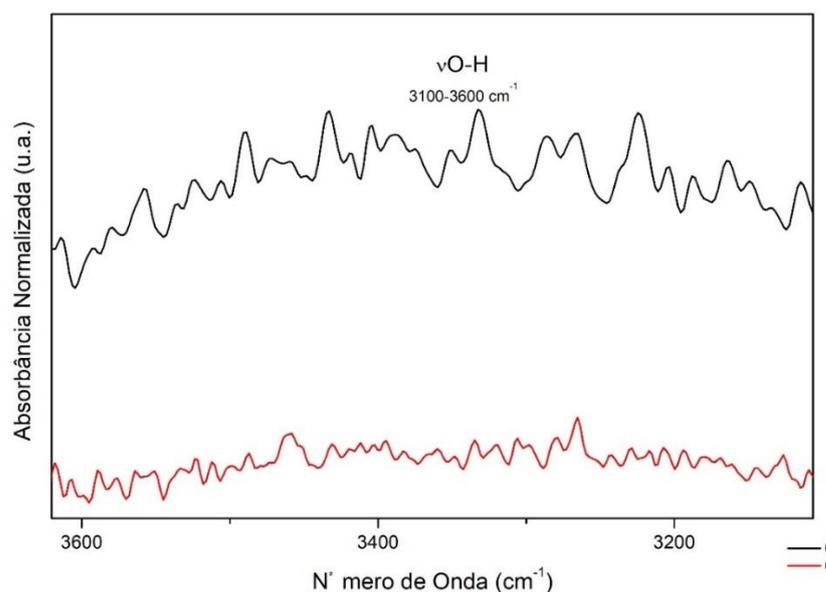


Figura 07 – Espectro ampliado nas bandas entre  $3600\text{ cm}^{-1}$  e  $3100\text{ cm}^{-1}$  do ligante puro CAP 50/70 antes e após o RTFO.



Como também não foi verificado variação de intensidade nas bandas citadas nas amostras modificadas com lignina de ambas as espécies vegetais, em especial na amostra com teor de 6% de lignina Eucalipto que apresentou variação mínima de intensidade, quando comparadas ao ligante puro.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da análise dos resultados dos ensaios, o ligante convencional CAP 50/70 puro, apresentou redução de massa superior as amostras modificadas com lignina, após o RTFO, demonstrando a ocorrência dos processos de oxidação e volatilização das frações mais leves no ligante. Quanto a análise química através do FTIR componentes químicos do ligante, após a identificação dos componentes químicos da amostra antes do RTFO, verificou-se o aumento sutil de intensidade de transmitância nas bandas referentes aos compostos associados a oxidação do ligante (carbonila, sulfóxidos e carboxilas) no espectro da amostra envelhecida, esperado para o ligante puro.

Os ligantes modificados com lignina pinus apresentaram redução de massa inferior a amostra de CAP 50/70 puro, após RTFO, demonstrando uma possível influência da lignina pinus a susceptibilidade do ligante aos processos de oxidação. Quanto a análise química através do FTIR, após a identificação dos componentes químicos das amostras antes do RTFO,

percebeu-se uma redução no aumento de intensidade de transmitância nas bandas referentes aos compostos associados a oxidação do ligante (carbonila, sulfóxidos e carboxilas), nos espectros das amostras envelhecidas, indicando uma possível atuação da lignina pinus contra a oxidação do ligante, em especial para o teor de 3%.

Os ligantes modificados com lignina eucalipto apresentaram redução de massa inferior a amostra de CAP 50/70 puro, após o RTFO, demonstrando uma possível influência da lignina eucalipto a susceptibilidade do ligante aos processos de oxidação. Quanto a análise química através do FTIR, após a identificação dos componentes químicos das amostras antes do RTFO, percebeu-se uma redução no aumento de intensidade de transmitância nas bandas referentes aos compostos associados a oxidação do ligante (carbonila e sulfóxidos), nos espectros das amostras envelhecidas, indicando uma possível atuação da lignina eucalipto contra a oxidação do ligante, em especial para o teor de 6%.

Portanto, levando em consideração os resultados obtidos através do RTFO e a análise do comportamento dos componentes químicos das amostras através do FTIR, verificou-se que o teor ótimo de lignina empregado como modificador do ligante convencional CAP 50/70 com o objetivo de melhorar suas propriedades contra o processo de envelhecimento, foi o de 6% de lignina de Eucalipto. Entretanto o ensaio FTIR, mostrou-se pouco conclusivo devido à baixa intensidade identificada nas bandas referentes aos grupos funcionais relacionados ao envelhecimento em todas as amostras.

Desta forma, conclui-se que a utilização da lignina como modificador de ligantes pode ser viável, através da análise química dos resultados alcançados neste trabalho, porém é necessária a realização de novos ensaios químicos que possam validar a interpretação dos resultados extraídos da análise dos espectros do FTIR. Quanto ao ponto de vista ambiental, é interessante o aproveitamento do excedente de lignina das indústrias de papel e celulose, evitando o descarte inadequado no meio ambiente. Como também, economicamente, por poder substituir em torno de 6% em peso do ligante utilizado na pavimentação e gerando uma fonte de renda extra para as indústrias produtoras de papel e celulose.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15235**: Materiais asfálticos – Determinação do efeito do calor e do ar em uma película delgada rotacional. Rio de Janeiro, 2009.

BATISTA, Kenia Barros. **Desenvolvimento de ligantes asfálticos modificado com lignina como aditivo antienvhecimento.** 2017. 48 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal Minas Gerais, Belo Horizonte, 2017.

BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L. M. G.; CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. B. **Pavimentação Asfáltica: Formação Básica para Engenheiros.** Rio de Janeiro: PETROBRAS: ABEDA, 2008.

BRINGEL, R. M. **Estudo Químico e Reológico de Ligantes Asfálticos Modificados por Polímeros e Aditivos.** 2007. 174 f. Dissertação (Mestrado em Química Orgânica). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2007.

DIAS, T. M. S.; SILVA, B. A.; REIS, M. M. **Estudo da lignina e seu potencial como bioaditivo para uso em misturas asfálticas.** Trabalho apresentado ao XXVIII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, Curitiba, 2014.

FERNANDES, M.R.S. **Efeito de aditivo tipo óleo e enxofre na reologia de CAPs modificados com SBS.** 2009. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

KLOCK, Umberto; MUÑIZ, Graciela Ines Bolzon de; ANZALDO, José Hernandez; ANDRADE, Alan Sulato de. **QUÍMICA DA MADEIRA - 3 ED.** Curitiba: Fupef do Paraná, 2005.

MORILHA JUNIOR, A. **Estudo sobre a ação de modificadores no envelhecimento dos ligantes asfálticos e nas propriedades mecânicas e de fadiga das misturas asfálticas.** 2004. 165 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

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.

LIMA, C. S.; SOARES, J. B.; TOMÉ, L. G. A. **Estudo das propriedades químicas e reológicas do ligante asfalto-borracha.** Trabalho apresentado ao 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, Salvador, 2004.

LUCENA, M. C. C. **Caracterização química e reológica de asfaltos modificados por polímeros**. 2005. 163f. Tese (Doutorado em Química Inorgânica). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2005.

LUZ, Priscila Maria Sousa Gonçalves. **Avaliação reológica do ligante asfáltico 50/70 modificado com lignina pinus e eucalipto**. 108 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2019.

PORTUGAL, A. C. X. **Avaliação Reológica de Cimentos Asfálticos de Petróleo Modificados com Óleo de Soja e de Milho**. 2016. 127 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2016.

ROSA JÚNIOR, José Manoel. **Estudo das propriedades reológicas do cimento asfáltico de petróleo (cap50/70) modificado com polímeros funcionalizados**. 2015. 39 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Paraíba, 2015.

SANTOS, I. D. **Influência dos teores de lignina, holocelulose e extrativos na densidade básica, contração da madeira e nos rendimentos e densidade do carvão vegetal de cinco espécies lenhosas do cerrado**. 57 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

SANTOS, Nataliene Silva dos. **Propriedades reológicas do ligante asfáltico (CAP 50/70) modificado por adição de lignina**. 2017. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Paraíba, 2017.

SOBREIRO, Fernanda Pilati. **Efeito da adição de ácidos fosfóricos no comportamento reológico de ligantes asfálticos puros e modificados com copolímero SBS**. 2014. 173 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade de São Paulo, São Carlos, São Paulo, 2014.