

**IAG28-01-2013**  
**ANÁLISIS COMPARATIVO DE ENVEJECIMIENTO DE CORTO Y  
LARGO PLAZO DE CARPETAS DE COMERCIO VARIAS FUENTES**

**ANÁLISE COMPARATIVA DO ENVELHECIMENTO DE CURTO E  
LONGO PRAZO DE LIGANTES COMERCIAIS DE VARIADAS ORIGENS**

Kíssyla Ávila Costa  
Instituto Militar de Engenharia  
Rio de Janeiro, Brasil  
kissyla\_avila@hotmail.com

Camila Nascimento Padilha Silva  
Instituto Militar de Engenharia  
Rio de Janeiro, Brasil  
camila\_padilha15@hotmail.com

Antônio Carlos Rodrigues Guimarães  
Instituto Militar de Engenharia  
Rio de Janeiro, Brasil  
guimaraes@ime.eb.br

## **Resumen**

En el presente estudio procuró evaluar las características físicas y reológicas de las carpetas de asfalto provenientes de diversas fuentes, sometidas a envejecimiento a corto y a largo plazo. Para ello, cuatro carpetas de asfalto fueron estudiadas mezclas envejecidos por un proceso a largo plazo simulado (ABSON) y también por invernadero de película delgada (RTFOT), así como una base de datos existente en el laboratorio de ligandos y bituminosos del Instituto Militar de Ingeniería. Se analizaron las características físicas: penetración, ablandamiento punto, viscosidad, punto de inflamación y ductilidad. La comparación se hizo de los ligandos Virgen con su extenso equipo de RTFOT y teniendo en cuenta la mezcla de asfalto de envejecimiento a largo plazo, seguido por el retiro del ligando por ABSON. De la base de datos se llevó a cabo una comparación de las características de estos ligandos y virgen, que un RTFOT completo estudio sobre el comportamiento de las carpetas de. Es bien sabido que las principales pérdidas de propiedades de ligandos ocurren durante el mecanizado, transporte y compresión. Sin embargo, la carpeta puede sufrir pérdidas de propiedades a lo largo de la vida del pavimento. De esta manera, estas características de las carpetas de asfalto, utilizados con eficacia en el trabajo del ejército brasileño, pueden influir en la mezcla del asfalto o manipulación sobre actuación de pavimento durante su vida útil. Se comprobó que hubo pérdida de propiedades en carpetas en ambas propiedades de envejecimiento que comprueben la rigidez de estos materiales.

## Resumo

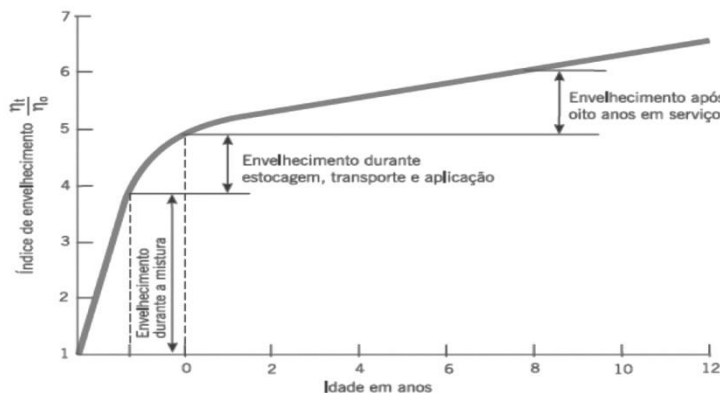
No presente trabalho buscou-se avaliar as características físicas e reológicas de ligantes asfálticos de diversas origens submetidos a envelhecimento de curto e longo prazo. Para tal, foram estudados quatro ligantes asfálticos envelhecidos por um processo simulado de longo prazo (ABSON) e também por estufa de filme fino rotativo (RTFOT), assim como um banco de dados existente no Laboratório de Ligantes e Misturas Betuminosas do Instituto Militar de Engenharia. As características físicas analisadas foram: penetração, viscosidade, ponto de amolecimento, ponto de fulgor e ductilidade. Foi feita a comparação dos ligantes virgens com a recaracterização dos mesmos envelhecidos em equipamento RTFOT e considerando o envelhecimento de longo prazo da mistura asfáltica, seguido de remoção do ligante pelo método ABSON. A partir do banco de dados foi realizado uma comparação das características destes ligantes virgens e pós RTFOT, para se ter um estudo completo sobre o comportamento de ligantes envelhecidos. É sabido que as maiores perdas das propriedades dos ligantes ocorrem durante a usinagem, transporte e compactação. Entretanto, o ligante pode sofrer perdas de propriedades durante toda a vida útil do pavimento. Dessa forma, tais características de ligantes asfálticos, efetivamente empregados em obra do Exército Brasileiro, podem influenciar no manuseio da mistura asfáltica ou no desempenho do pavimento durante sua vida de serviço. Foi verificado que houve perda de propriedades nos ligantes em ambos os envelhecimentos evidenciando o enrijecimento destes materiais.

## INTRODUÇÃO

O ligante asfáltico é largamente utilizado em revestimento rodoviário e suas características físicas e reológicas devem ser estudadas para que estas não sejam excessivamente modificadas durante o processo de usinagem, estocagem ou durante a vida de serviço do pavimento, garantindo sua durabilidade.

Segundo Silva (2011), várias são as reações passíveis de ocorrer nos ligantes betuminosos, sendo as principais: oxidação, perda de voláteis, endurecimento exsudativo e endurecimento físico. Conforme descrito por Whiteoak (1991), o envelhecimento oxidativo é acelerado na presença do calor e do ar. A perda de voláteis, embora não seja significativo em asfaltos puros, devido à sua baixa presença, é outro parâmetro ligado ao envelhecimento do ligante, processo esse intrínseco à temperatura e à condição de exposição (LIEDI *et al*, 2008). O endurecimento exsudativo do ligante asfáltico que é resultante da migração de componentes oleosos do ligante para o agregado mineral.

É importante se ter um parâmetro que avalie o potencial de envelhecimento de cada ligante nas várias fases de utilização: estocagem, usinagem, transporte, compactação e vida de serviço. O envelhecimento do ligante ocorre em maior grau durante a usinagem e em menores proporções durante o transporte e armazenagem, e irá continuar durante a vida útil do pavimento até atingir um valor limite (Shell, 2003). A Figura 1 demonstra os efeitos do envelhecimento do ligante em função do tempo de envelhecimento.



**Figura 1: Envelhecimento do ligante durante mistura com o agregado em usina, estocagem, transporte, aplicação no campo e durante vários anos de serviço (Whiteoak, 1991, apud Shell, 2003).**

Dentre as formas de se estudar o efeito da oxidação no ligante tem-se os ensaios em *Rolling Thin Film Oven Test* – RTFOT, *Superior Performance Asphalt Pavements* – SUPERPAVE e *Pressure Aging Vessel* – PAV como os principais. O RTFOT simula de forma mais efetiva o envelhecimento de curto prazo, ou seja, a usinagem de uma mistura asfáltica, enquanto o PAV simula o envelhecimento em longo prazo, ou seja, pelo tráfego de veículos durante longos tempos de serviço, combinado com o ambiente e intempéries a que o revestimento é exposto (MORILHA, 2004).

A especificação SUPERPAVE prescreve a simulação do envelhecimento a curto prazo, ocorrido na fase de construção da camada asfáltica (usinagem e estocagem), por meio do ensaio em estufa de filme fino rotativo (RTFOT), e o envelhecimento a longo prazo, que se dá lentamente ao longo da vida útil do pavimento, por meio do ensaio em vaso pressurizado (PAV).

É necessário simular o envelhecimento de maneira mais próxima possível da realidade. O objetivo deste trabalho é estudar o envelhecimento de ligantes asfálticos de diversas regiões brasileiras, extraídos a partir de misturas betuminosas tipo concreto asfáltico usinado a quente, e coletados antes e após envelhecimento de curto e longo prazo, visando quantificar a perda de propriedades físicas e características reológicas durante o processo e sua influência na vida do pavimento.

## METODOLOGIA

Os ligantes virgens utilizados no presente estudo foram obtidos do banco de dados do Laboratório de Ligantes e Misturas Betuminosas do Instituto Militar de Engenharia - IME. Os materiais utilizados nos ensaios descritos foram especificados de acordo com sua utilização.

Os ligantes asfálticos utilizados no estudo foram obtidos de diferentes fabricantes brasileiros: CAP 30/45 Greca Flex, 50/70 REDUC, CAP modificado por polímero 60/85 da Brasquímica e 50/70 Lubnor. Tais ligantes foram caracterizados física e reologicamente, na sua forma virgem, através dos seguintes ensaios: penetração, ponto de amolecimento, ponto de fulgor, viscosidade brookfield e ductilidade. Esses ensaios são normatizados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT e pelo

Departamento Nacional de Estradas de Rodagem - DNER e estão apresentados na Tabela 1.

**Tabla 1: Tipos de ensaios e normas conforme ABNT**

<b>Tipos de Ensaio</b>	<b>Norma</b>
Ensaio de Penetração	DNIT 155/2010
Ensaio de Viscosidade Brookfield	NBR 9277/2004
Ensaio de Ponto de Amolecimento	DNIT 131/2010
Ensaio de Ponto de Fulgor	NBR 11341/2004
Ensaio de Ductilidade	DNER 163/1998

A simulação do envelhecimento de curto prazo foi realizada através do ensaio estufa de filme fino rotativo (RTFOT), a uma temperatura de 163°C durante período de 85 minutos e em presença continua de oxigênio. Adotou-se a norma NBR 15235/2005, em todas as amostras de ligante asfáltico. Após o envelhecimento as amostras foram novamente caracterizadas. Para o estudo do envelhecimento de longo prazo foram preparadas misturas asfálticas compactadas através do método Marshall (ABNT/1993) com cada ligante utilizado. Após os corpos de provas (Cp's) serem moldados, estes foram submetidos a condições simuladas de desgaste, sem a presença de tráfego.

Os cp's utilizando os ligantes 30/45 Greca Flex e 50/70 REDUC foram expostos por um período de 2 meses, enquanto os Cp's utilizando os ligantes 60/85 da Brasquímica e 50/70 Lubnor foram expostos por um período de um ano, à condições intempéricas de oxigênio, temperatura, água e luz. Foram analisadas datas diferentes de exposição, a fim de verificar a perda de propriedades em periodos diferentes e para o aproveitamento de corpos de provas já estudados em outras pesquisas. Os CP's foram colocados na cobertura do prédio do IME, onde permaneceram intocados e sujeitos às condições de intemperismo da cidade do Rio de Janeiro (Figura2).



**Figura 2: Corpos de prova submetidos ao envelhecimento simulado.**

O método ABSON é considerado um procedimento experimental, e, apesar de polêmicas em torno da variabilidade dos resultados inerentes ao processo de extração, quando analítica e criteriosamente executada permite que sejam aferidas com relativa precisão as propriedades físicas e reológicas do ligante envelhecido para que assim possam ser quantificadas. O método consiste basicamente na dissolução do ligante em estudo em um solvente (tricloroetileno), e posterior recuperação do ligante através de processos de destilação com injeção de CO<sub>2</sub>.

As instruções normatizadas preconizadas pelas AASHTO T 170-93 e ASTM D 1856-95 para a

realização do método ABSON foram levadas em consideração. Após a extração do ligante envelhecido foi realizada a análise dos resultados obtidos. Para quantificar a perda das propriedades por parte dos ligantes após o envelhecimento, os resultados são confrontados a fim de identificar os fatores que levaram a uma maior ou menor perda das características do ligante original.

Após a extração do ligante das misturas betuminosas pelo método ABSON, este foi novamente aracterizado e comparado com o ligante virgem e envelhecido por RTFOT para verificação das perdas de propiedades físicas e reológicas do material.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A caracterização do ligante asfáltico 30/45 Greca Flex virgem e envelhecido em RTFOT e em processo simulado em exposição às intempéries por 2 meses utilizado no presente estudo, é apresentada na Tabela 2.

**Tabela 2: Resultados da caracterização do ligante 30/45 Greca Flex asfáltico virgem e após envelhecimento de curto e longo prazo.**

Ensaio	Características ANP - 2005	Média	Método
<b>Ensaio na Amostra Virgem</b>			
Ponto de Amolecimento °C	Mínimo 52°C	51,8	DNIT 131/2010
Penetração (100g, 5s, 25°C, 0,1mm)	Mínimo 30 - 45 d/mm	30	DNIT 155/2010
Viscosidade Brookfield a 135°C, spindle 21, 20 RPM, máx, Cp	374	552,5	
Viscosidade Brookfield a 150°C, spindle 21, 50 RPM, máx, Cp	203	264	NBR 9277/2004
Viscosidade Brookfield a 177°C, spindle 21, 100 RPM, máx, Cp	76 e 285	91	
Ponto de Fulgor, °C	235	338	NBR 11341/2004
Dutilidade, °C, cm, mín.	60	>100	DNER 163/1998
<b>Ensaio Após Envelhecimento RTFOT</b>			
Variação em massa, máx, %	0,5	1,0	-
Aumento máximo no Ponto de Amolecimento (°C)	8	0,1	DNIT 131/2010
Penetração retida (%) mín	60	25	DNIT 155/2010
Ponto de Fulgor, °C	-	-	NBR 11341/2004
Dutilidade, °C, cm, mín.	10	-	DNER 163/1998
<b>Ensaio Após Envelhecimento Simulado (Extração ABSON)</b>			
Variação em massa, máx, %	0,5	-	-
Aumento máximo no Ponto de Amolecimento (°C)	8	12,8	DNIT 131/2010
Penetração retida (%) mín	60	86,67	DNIT 155/2010
Viscosidade Brookfield a 135°C, spindle 21, 20 RPM, máx, Cp	-	777,5	
Viscosidade Brookfield a 150°C, spindle 21, 50 RPM, máx, Cp	-	495	NBR 9277/2004
Viscosidade Brookfield a 177°C, spindle 21, 100 RPM, máx, Cp	-	415	
Ponto de Fulgor, °C	-	>240	NBR 11341/2004
Dutilidade, °C, cm, mín.	10	18	DNER 163/1998

É possível observar na Tabela 2 que o ligante 30/45 virgem atende as normas brasileiras em

quase todos os parâmetros, somente a viscosidade Brookfield ficou acima dos limites nas temperaturas de 135°C e 150°C com valores de 552,5 e 264cp respectivamente. No que corresponde ao envelhecimento de curto prazo (RTFOT) o ligante apresentou perda de massa de 1%, ou seja, acima do estabelecido pela norma que é de 0,5% e uma penetração retida de 86,67% que a original, resultado este dentro do limite mínimo de 60% estabelecido pela norma brasileira.

O aumento no ponto de amolecimento observado também ficou dentro do esperado sendo o valor obtido após RTFOT de 0,1%. Para viscosidade Brookfield, ductilidade e ponto de fulgor não foram encontrados no banco de dados do IME valores para fazer a comparação com os valores após envelhecimento simulado. Observou-se em envelhecimento simulado de longo prazo que a viscosidade Brookfield para as temperaturas analisadas também ficou muito acima dos limites estabelecidos para amostra virgem, exceto para a temperatura de 177°C verificando o envelhecimento do ligante após envelhecimento.

Os valores observados para temperatura de 135°C, 150 °C e 177 °C foram 1577 cp, 658 cp e 189 cp respectivamente. A ductilidade apresentou valor de 18 cm após envelhecimento simulado, ou seja, abaixo do valor encontrado para o ligante virgem e dentro do esperado para ligante envelhecido por RTFOT. A penetração retida observada no ligante asfáltico foi de 26% valor abaixo ao estabelecido. Enquanto o aumento no ponto de amolecimento foi de 12,8°C acima do limite da norma brasileira de no máximo 8%.

A caracterização do ligante asfáltico 50/70 da REDUC virgem e envelhecido em curto e longo prazo e em exposição às intempéries por 2 meses é apresentada na Tabela 3.

**Tabela 3: Resultados da caracterização do ligante por polímero 50/70 da REDUC virgem e após envelhecimento de curto e longo prazo.**

Ensaio	Características DNIT – EM 129/2010	Média	Método
<b>Ensaio na Amostra Virgem</b>			
Ponto de Amolecimento °C	Mínimo 46°C	51,4	DNIT 131/2010
Penetração (100g, 5s, 25°C, 0,1mm)	Mínimo 57 – 70 d/mm	57	DNIT 155/2010
Viscosidade Brookfield a 135°C, spindle 21, 20 RPM, máx, Cp	274	375	
Viscosidade Brookfield a 150°C, spindle 21, 50 RPM, máx, Cp	112	183	NBR 9277/2004
Viscosidade Brookfield a 177°C, spindle 21, 100 RPM, máx, Cp	57 a 285	68	
Ponto de Fulgor, °C	235	315	NBR 11341/2004
Dutibilidade, °C, cm, mín.	60	>100	DNER 163/1998
<b>Ensaio Após Envelhecimento RTFOT</b>			
Variação em massa, máx, %	0,5	0,022	-
Aumento máximo no Ponto de Amolecimento (°C)	8	0,9	DNIT 131/2010
Penetração retida (%) mín	55	61,5	DNIT 155/2010
Ponto de Fulgor, °C	-	-	NBR 11341/2004
Dutibilidade, °C, cm, mín.	20	-	DNER 163/1998

**Tabela 3: Resultados da caracterização do ligante por polímero 50/70 da REDUC virgem e após envelhecimento de curto e longo prazo (continuação).**

<b>Ensaio Após Envelhecimento Simulado (Extração ABSON)</b>			
Variação em massa, máx, %	0,5	-	-
Aumento máximo no Ponto de Amolecimento (°C)	8	13,8	DNIT 131/2010
Penetração retida (%) mín	60	22,8	DNIT 155/2010
Viscosidade Brookfield a 135°C, spindle 21, 20 RPM, máx, Cp	-	1577	
Viscosidade Brookfield a 150°C, spindle 21, 50 RPM, máx, Cp	-	658	NBR 9277/2004
Viscosidade Brookfield a 177°C, spindle 21, 100 RPM, máx, Cp	-	189	
Ponto de Fulgor, °C	-	>250	NBR 11341/2004
Dutibilidade, °C, cm, mín.	20	24,7	DNER 163/1998

De acordo com a Tabela 3 o ligante 50/70 da REDUC virgem atendeu as normas brasileiras, exceto na viscosidade Brookfield que nas temperaturas de 135°C e 150°C com valores de 552,5 e 264cp respectivamente, ficou acima dos limites máximos. Quanto ao envelhecimento em RTFOT o ligante apresentou perda de massa de 0,022%, valor dentro do estabelecido pela norma que é de 0,5% e uma penetração retida de 61,5% menor que a original, resultado este dentro do limite mínimo de 60% estabelecido pela norma brasileira. O aumento no ponto de amolecimento observado também ficou dentro do esperado sendo o valor obtido após RTFOT de 0,9%.

Os valores para ductilidade e ponto de fulgor não foram encontrados no banco de dados do IME para a comparação com os valores após envelhecimento simulado. Observou-se em envelhecimento simulado de longo prazo que os valores para viscosidade Brookfield nas temperaturas analisadas também ficaram muito acima dos limites estabelecidos para amostra virgem, exceto para a temperatura de 177°C verificando o envelhecimento do ligante após envelhecimento. Os valores observados para temperatura de 135°C, 150 °C e 177 °C foram 1577 cp, 658 cp e 189 cp respectivamente.

A ductilidade apresentou valor de 24,7 cm após envelhecimento simulado, ou seja, abaixo do valor encontrado para o ligante virgem e dentro do esperado para ligante envelhecido por RTFOT. O aumento no ponto de amolecimento foi de 13,8°C, acima do estabelecido pelo limite de envelhecimento em RTFOT. O ligante apresentou penetração retida de 22,80 % valor este abaixo ao estabelecido em norma o que comprova o envelhecimento do ligante após envelhecimento simulado.

A caracterização do ligante asfáltico modificado por polímero 60/85 da Brasquímica virgem e envelhecido em RTFOT e em processo simulado em exposição às intempéries por 1 ano utilizado no presente estudo, é apresentada na Tabela 4.

**Tabela 4: Resultados da caracterização do ligante por polímero 60/85 da Brasquímica virgem e após envelhecimento de curto e longo prazo.**

Ensaio	Características DNIT – EM 129/2010	Média	Método
<b>Ensaio na Amostra Virgem</b>			
Ponto de Amolecimento °C	Mínimo 60°C	66,3	DNIT 131/2010
Penetração (100g, 5s, 25°C, 0,1mm)	Mínimo 45 d/mm	58	DNIT 155/2010
Viscosidade Brookfield a 135°C, spindle 21, 20 RPM, máx, Cp	3000	820	
Viscosidade Brookfield a 150°C, spindle 21, 50 RPM, máx, Cp	2000	412	NBR 9277/2004
Viscosidade Brookfield a 177°C, spindle 21, 100 RPM, máx, Cp	1000	155	
Ponto de Fulgor, °C	225	296	NBR 11341/2004
Dutibilidade, cm, mín.	100	>100	DNER 163/1998
<b>Ensaio Após Envelhecimento RTFOT</b>			
Variação em massa, máx, %	1%	0,0225	-
Redução máximo no Ponto de Amolecimento (°C)	5	6	DNIT 131/2010
Penetração retida (%) mín	60	62,0	DNIT 155/2010
Ponto de Fulgor, °C	-	-	NBR 11341/2004
Recuperação Elástica, cm, mín.	80	-	DNER 163/1998
<b>Ensaio Após Envelhecimento Simulado (Extração ABSON)</b>			
Variação em massa, máx, %	0,5	-	-
Redução máximo no Ponto de Amolecimento (°C)	5	5,8	DNIT 131/2010
Penetração retida (%) mín	60	31,60	DNIT 155/2010
Viscosidade Brookfield a 135°C, spindle 21, 20 RPM, máx, Cp	-	957,5	
Viscosidade Brookfield a 150°C, spindle 21, 50 RPM, máx, Cp	-	444	NBR 9277/2004
Viscosidade Brookfield a 177°C, spindle 21, 100 RPM, máx, Cp	-	147	
Ponto de Fulgor, °C	-	>240	NBR 11341/2004
Recuperação Elástica, cm, mín.	80	>100	DNER 163/1998

Os parâmetros analisados na amostra virgem, de acordo com a Tabela 4, o ligante virgem 60/85 da Brasquímica atendeu as normas brasileiras em todos os parâmetros. O ligante analisado após envelhecimento em RTFOT apresentou perda de massa de 0,0225%, valor dentro do estabelecido pela norma que é de 0,5% e uma penetração retida de 62% menor que a original, resultado este dentro do limite mínimo de 60% estabelecido pela norma brasileira.

A redução no ponto de amolecimento observado ficou acima do limite esperado sendo o valor obtido após RTFOT de 5,8%. Os valores para ductilidade e ponto de fulgor não foram encontrado no banco de dados do IME para a comparação com os valores após envelhecimento simulado.

Observou-se em envelhecimento simulado de longo prazo que os valores para viscosidade Brookfield nas temperaturas analisadas também ficou muito acima dos limites estabelecidos para amostra virgem, exceto para a temperatura de 177°C verificando o envelhecimento do ligante a 957,5 cp, 444 cp e 147 cp respectivamente. A ductilidade apresentou valor de maior que 100 cm após envelhecimento simulado, ou seja, dentro do valor encontrado para o ligante virgem e dentro do esperado para ligante envelhecido por RTFOT. O ligante apresentou penetração retida de 31,60% valor este abaixo ao estabelecido, comprovando o envelhecimento do ligante.



A caracterização do ligante asfáltico modificado por polímero 50/70 Lubnor virgem e envelhecido em RTFOT e em processo simulado em exposição às intempéries por 1 ano utilizado no presente estudo, é apresentada na Tabela 5.

**Tabela 5: Resultados da caracterização do ligante 50/70 Lubnorvirgem e após envelhecimento de curto e longo prazo.**

Ensaio	Características DNIT – EM 129/2010	Média	Método
<b>Ensaaios na Amostra Virgem</b>			
Ponto de Amolecimento °C	Mínimo 46°C	57	DNIT 131/2010
Penetração (100g, 5s, 25°C, 0,1mm)	Mínimo 57 – 70 d/mm	55	DNIT 155/2010
Viscosidade Brookfield a 135°C, spindle 21, 20 RPM, máx, Cp	274	490,1	
Viscosidade Brookfield a 150°C, spindle 21, 50 RPM, máx, Cp	112	283,3	NBR 9277/2004
Viscosidade Brookfield a 177°C, spindle 21, 100 RPM, máx, Cp	57 a 285	83,3	
Ponto de Fulgor, °C	235	276	NBR 11341/2004
Dutibilidade, °C, cm, mín.	60	>100	DNER 163/1998
<b>Ensaaios Após Envelhecimento RTFOT</b>			
Variação em massa, máx, %	0,5	-	-
Aumento máximo no Ponto de Amolecimento (°C)	8	-	DNIT 131/2010
Penetração retida (%) mín	55	56,5	DNIT 155/2010
Ponto de Fulgor, °C	-	-	NBR 11341/2004
Dutibilidade, °C, cm, mín.	20	-	DNER 163/1998
<b>Ensaaios Após Envelhecimento Simulado (Extração ABSON)</b>			
Variação em massa, máx, %	0,5	-	-
Aumento máximo no Ponto de Amolecimento (°C)	8	3,5	DNIT 131/2010
Penetração retida (%) mín	60	23,63	DNIT 155/2010
Viscosidade Brookfield a 135°C, spindle 21, 20 RPM, máx, Cp	-	1070	
Viscosidade Brookfield a 150°C, spindle 21, 50 RPM, máx, Cp	-	474	NBR 9277/2004
Viscosidade Brookfield a 177°C, spindle 21, 100 RPM, máx, Cp	-	149,5	
Ponto de Fulgor, °C	-	>242	NBR 11341/2004
Dutibilidade, °C, cm, mín.	20	95	DNER 163/1998

De acordo com a Tabela 5, o ligante 50/70 Lubnor virgem atendeu aos limites estabelecidos pelas normas brasileiras exceto pelas viscosidades Brookfield nas temperaturas de 135°C e 150°C, nesses casos o ligante se apresentou mais viscoso. Os resultados após envelhecimento em RTFOT só pode ser encontrada a penetração retida de 56,5% dentro do limite estabelecido.

Os resultados para o envelhecimento de longo prazo ficaram acima dos limites estabelecidos para amostra virgem, para as viscosidades Brookfield nas temperaturas analisadas, sendo encontrados valores de a 1070 cp, 474 cp e 149,5 cp, verificando o envelhecimento do ligante. A ductilidade apresentou valor de 95 cm após envelhecimento simulado, ou seja, dentro do valor encontrado para o ligante virgem e dentro do esperado para ligante envelhecido por RTFOT. O ligante apresentou penetração retida de 23,63% valor este abaixo ao estabelecido, comprovando o envelhecimento do ligante. O aumento no ponto de amolecimento e ponto de fulgor também ficaram dentro dos limites estabelecidos pela norma brasileira.

## CONCLUSÕES

No presente trabalho mostrou-se que o envelhecimento de longo prazo gerou perda de propriedades mais significativas do que em envelhecimento de curto prazo em estufa de filme fino rotativo (RTFOT). A exposição das misturas asfálticas ao intemperismo durante tais períodos provocou a oxidação do ligante asfáltico e consequentemente seu enrijecimento e envelhecimento. Deve-se considerar também que durante a extração pelo método ABSON há um envelhecimento de curto prazo uma vez que o ligante fica exposto à elevadas temperaturas e ao CO<sub>2</sub>. No entanto, tal envelhecimento de curto prazo não ocorre em um nível considerável. Portanto, para o presente estudo levou-se em consideração apenas as ações do intemperismo junto aos corpos de prova expostos no telhado do IME.

Os períodos foram determinados levando em consideração a pequena área dos corpos de prova a serem expostos, uma vez que não somente a parte superior dos corpos de prova fosse exposta mas também as laterais. Tal envelhecimento de longo prazo foi comprovado devido ao aspecto envelhecido dos cp's e às perdas de propriedades dos ligantes após os períodos analisados. Dessa forma, é possível concluir que mesmo os corpos de prova analisados que não estavam sobre solicitação de tráfego, mas apenas sob ações intempéricas, os ligantes asfálticos tiveram de maneira geral maiores perdas de propriedades quando comparados aos ligantes virgens e envelhecidos em RTFOT. Logo, o envelhecimento de ligantes seja por curto ou longo prazo deve ser considerado em estudos futuros, uma vez que o estudo sobre perda de propriedades de ligantes asfálticos por envelhecimento é relevante.

## REFERENCIAS

- ABNT (1998a) NBR 6576 - Materiais betuminosos: determinação da penetração. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro.
- ABNT (1998b) NBR 6560 - Materiais betuminosos: determinação do ponto de amolecimento: método do anel e bola. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro.
- ABNT (2001a) NBR 14736 - Materiais asfálticos: determinação do efeito do calor e do ar: método da película delgada. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro.
- Bernucci, L.B.; Motta, L.M.G; Ceratti, J.A.P; Soares, J.B. (2006) Pavimentação Asfáltica: Formação Básica Para Engenheiros. PETROBRAS/ABEDA. Rio de Janeiro.
- Morilha, J.A. (2004) Estudo Sobre a Ação de Modificadores no Envelhecimento dos Ligantes Asfálticos e nas Propriedades Mecânicas e de Fadiga das Misturas Asfálticas. Dissertação de mestrado, UFSC. Santa. Catarina.
- SILVA, J.P.S. (2011). Avaliação dos efeitos de produtos rejuvenescedores em misturas asfálticas. Tese de Doutorado, Publicação G.TD-067/2011, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 145 p.
- Whiteoak, D. (1990) SHELL Bitumen Handbook. SHELL. Inglaterra.
- Shell (2003) The Shell Bitumen Handbook. Thomas Telford Ltd. 5 ed. London