



**FACULDADE ARI DE SÁ
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

RONALDO CESAR CELENTO NUNES

**PROPRIEDADES FÍSICAS DE LIGANTE ASFÁLTICO MODIFICADO COM
RESÍDUOS DE SACOLA PLÁSTICA**

**FORTALEZA
2020**

RONALDO CESAR CELENTO NUNES

PROPRIEDADES FÍSICAS DE LIGANTE ASFÁLTICO MODIFICADO COM RESÍDUOS
DE SACOLA PLÁSTICA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como requisito parcial à obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil da Faculdade Ari
de Sá

Orientador: Prof. Me Ilania Maria Nascimento
Mascarenhas

FORTALEZA

2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Faculdade Ari de Sá
Gerada automaticamente mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

N972p Nunes, Ronaldo Cesar Celento.

PROPRIEDADES FÍSICAS DE LIGANTE ASFÁLTICO MODIFICADO COM RESÍDUOS DE SACOLA PLÁSTICA / Ronaldo Cesar Celento Nunes. – 2021.

45 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso – Faculdade Ari de Sá, Curso de Engenharia Civil, Fortaleza, 2021.

Orientação: Profa. Ma. Ilania Maria Nascimento Mascarenhas.

1. Ligante Modificado. 2. Ligante. 3. Pavimentação. 4. Infraestrutura. 5. Transportes. I. Título.

CDD 620

RONALDO CESAR CELENTO NUNES

**PROPRIEDADES FÍSICAS DE LIGANTE ASFÁLTICO MODIFICADO COM RESÍDUOS
DE SACOLA PLÁSTICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como requisito parcial à obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil da Faculdade Ari
de Sá.

Orientador: Prof. Me. Ilania Maria Nascimento
Mascarenhas

Aprovada em: ___ / ___ / ___

BANCA EXAMINADORA

Prof. Me. (Ilania Maria Nascimento Mascarenhas)
Faculdade Ari de Sá

Prof. Me. (Leonardo Tavares de Souza)
Faculdade Ari de Sá

Dr. (Bruno de Castro Amoni)
Universidade Federal do Ceará

Dedico esse trabalho à minha família e amigos
que sempre estiveram presentes nos momentos
difíceis dessa trajetória.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me iluminado em mais uma batalha na minha vida, e por não ter desistido de mim, mesmo quando estava cansado e sem forças.

Agradeço também a minha orientadora Prof. Ilania Maria, pelo comprometimento e confiança no meu trabalho, pelos horizontes abertos que ela me proporcionou, correções e incentivos.

Meus agradecimentos a minha família, especialmente a minha mãe Cristina, e meu pai Ronaldo, que embora muito ocupados nunca deixaram de prestigiar meu trabalho, me incentivar e tentar ajudar da melhor forma possível. Sou grato também pela minha avó Maria da Glória, que apesar de não estar mais presente no meu cotidiano como antes tem me ensinado que eu devo aproveitar a vida e todos os seus momentos.

Meus agradecimentos ao meu irmão Igor e sua família por se preocuparem comigo e me impulsionarem para que eu conseguisse realizar meus sonhos

Agradeço a todos os professores pelos quais passei em minha carreira acadêmica, tanto por me ensinarem a parte técnica, quanto a parte subjetiva das cada coisa, com suas experiências e vivências.

A todos que fizeram parte da minha trajetória na graduação, obrigado.

OBRIGADO!

Tal como a chuva caída
Fecunda a terra, no estio,
Para fecundar a vida
O trabalho se inventou.

Feliz quem pode, orgulhoso,
Dizer: “Nunca fui vadio:
E, se hoje sou venturoso,
Devo ao trabalho o que sou!”

É preciso, desde a infância,
Ir preparando o futuro;
Para chegar à abundância,
É preciso trabalhar.

Não nasce a planta perfeita,
Não nasce o fruto maduro;
E, para ter a colheita,
É preciso semear...
(Olavo Bilac, 1904)

RESUMO

Devido ao crescimento exacerbado das indústrias, atrelada a vida útil cada vez mais baixa de produtos, a geração diária de resíduos têm sido um empecilho para a sustentabilidade. Grande parte dos descartes e rejeitos dessas indústrias compõe uma quantidade grande de materiais de difícil degradação como a sacola plástica, sendo eles por muitas vezes incinerados, podendo gerar problemas respiratórios a população, ilhas de calor e contribuir com o aquecimento global. Visando a sustentabilidade e a utilização das sacolas de maneira mais eficaz, contribuindo para a eliminação de parte dos resíduos, e melhoria da infraestrutura de transportes, o presente trabalho então utilizou resíduos de sacola plástica nas quantidades de 1, 2 e 3% para a incorporação no Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP). Após a incorporação em um misturador na temperatura de 180 °C, com 1200 Rotações Por Minuto (RPM) as amostras passaram pelos ensaios de penetração, ponto de amolecimento e ensaio de reometria no reômetro de cisalhamento dinâmico, passando pela varredura de frequências com ênfase nos resultados das curvas mestras. Essas experimentações resultaram em um aumento da temperatura do ponto de amolecimento e aumento da penetração, além do ensaio de reometria que mostrou uma diferença sutil entre as amostras de 1 e 2%, com a lógica de que a medida em que a temperatura diminui, a rigidez do material aumenta o módulo complexo (G^*). Além disso quando há uma queda na temperatura, a frequência consequentemente aumenta havendo uma redução da viscosidade e um aumento da elasticidade. Os resultados com a amostra de 3% não devem ser levados em consideração para fins bibliográficos, já que houveram alterações sem padrão lógico nos resultados, provavelmente devido a existência de pedaços de plástico ainda não fundidos na amostra.

Palavras-Chave: Ligante. Sustentabilidade. Resíduo. Cimento Asfáltico de Petróleo. Ligante Modificado.

ABSTRACT

Tender to the exacerbated growth of the industries, linked to the increasingly low useful life of products, the daily generation of waste has been an obstacle to sustainability. A large part of the discards and rejects of these industries compose a large amount of materials that are difficult to degrade such as a plastic bag, which are often incinerated, which can cause respiratory problems for the population, heat islands and contribute to global warming. Aiming at the sustainability and the use of the bags in a more efficient way, contributing to the elimination of part of the residues, and the improvement of the transport infrastructure, the present work then used plastic bag residues in the quantities of 1, 2 and 3% for a incorporation into the Asphalt Petroleum (CAP). After incorporation in a mixer at a temperature of 180 ° C, with 1200 Rotations Per Minute (RPM) as passed through the penetration tests, softening point and rheometry test in the dynamic shear rheometer, passing through the frequency scanning with emphasis on the results of the master curves. These experiments resulted in an increase in the temperature of the softening point and an increase in penetration, in addition to the rheometry test that shows a subtle difference between 1 and 2%, with the logic that as the temperature involved, the material stiffness increases the complex modulus (G^*). In addition, when there is a drop in temperature, the frequency consequently increases with a reduction in viscosity and an increase in elasticity. The results with the 3% sample should not be taken into account for bibliographic purposes, as there are changes without a logical pattern in the results, probably due to the existence of pieces of plastic not yet fused in the sample.

Keywords: Binder. Sustainability. Residues. Asphalt Petroleum Cement. Modified Binder.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Situação de Rodovias brasileiras segundo a pesquisa CNT de 2019.....	14
Figura 2 - Qualidade das Rodovias Pavimentadas do Brasil.....	15
Figura 3 - Custo Operacional de Rodovias Concedidas e Públicas por Região do Brasil.	16
Figura 4 – Produção de asfalto de forma simplificada	19
Figura 5 - Esquema básico do ensaio de Penetração.....	21
Figura 6 – Momento em que é medido o ponto de amolecimento	22
Figura 7 - Estrutura do EVA	24
Figura 8 - Estrutura do SBS.....	25
Figura 9 - Porcentagens de material usadas no estudo.	27
Figura 10 - Porcentagens de material usados no estudo.....	28
Figura 11 - Dimensão da sacola plástica picada	31
Figura 12 - Material pronto para incorporação.....	32
Figura 13 - Misturador utilizado na incorporação da sacola plástica ao ligante	32
Figura 14 - Equipamento Utilizado para Penetração (LMP).....	33
Figura 15 - Montagem do ensaio de ponto de amolecimento.....	34
Figura 16 - Dados da varredura de frequência original para múltiplas temperaturas.....	35
Figura 17 - Desperdício de material modificador.....	36
Figura 18 - Amostras de 1, 2 e 3% respectivamente, após a incorporação	36
Figura 19 - Penetração das amostras	37
Figura 20 - Ponto de amolecimento das amostras	38
Figura 21 - Reômetro de Cisalhamento Dinâmico	39
Figura 22 - Curva Mestra do G^* em função da frequência	39
Figura 23 - Curva Mestra do ângulo de fase em função da frequência.....	40

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CAP	Cimento Asfáltico de Petróleo
CNT	Confederação Nacional do Transporte
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
EVA	Copolímero de Etileno e Acetato de Vinila
LA	Ligante Asfáltico
LCC	Líquido da Castanha de Caju
PEBD	Polietileno de Baixa Densidade
PPA	Ácido Fosfórico
RET	Terpolímero Elastomérico Reativo
SP	Sacola Plástica
SBS	Copolímero de Estireno e Butadieno
RPM	Rotações por Minuto

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Estrutura do Trabalho	17
2	OBJETIVOS	18
2.1	Objetivo Geral	18
2.2	Objetivos Específicos	18
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
3.1	Considerações Iniciais	18
3.2	Ligante Asfáltico	18
3.2.1	Produção	18
3.2.2	Química do Asfalto	20
3.2.3	Caracterização do Ligante Asfáltico	21
3.3	Ligantes Modificados	23
3.3.1	Ligantes Modificados com Polímeros (EVA, SBS e RET)	23
3.3.2	Ligantes Modificados com EVA	24
3.3.3	Ligante Modificados Com SBS	25
3.3.4	Ligante Modificado Com RET	26
3.3.5	Ligantes Modificados Com Resíduos Naturais	26
3.4	Sacola Plástica	28
3.4.1	Fabricação	28
3.4.2	Química	28
3.4.3	Resíduo	29
3.4.4	Impacto Ambiental	29
3.4.5	Medidas Corretivas	30
4	METODOLOGIA	31
4.1	Preparação do Resíduo da Sacola Plástica (SP) com o Ligante Asfáltico (LA)	31
4.2	Ensaio de Penetração - DNIT 155/2010-ME	33
4.3	Ensaio de Ponto de Amolecimento - DNIT 131/2010 – ME	33
4.4	Curva Mestra	34

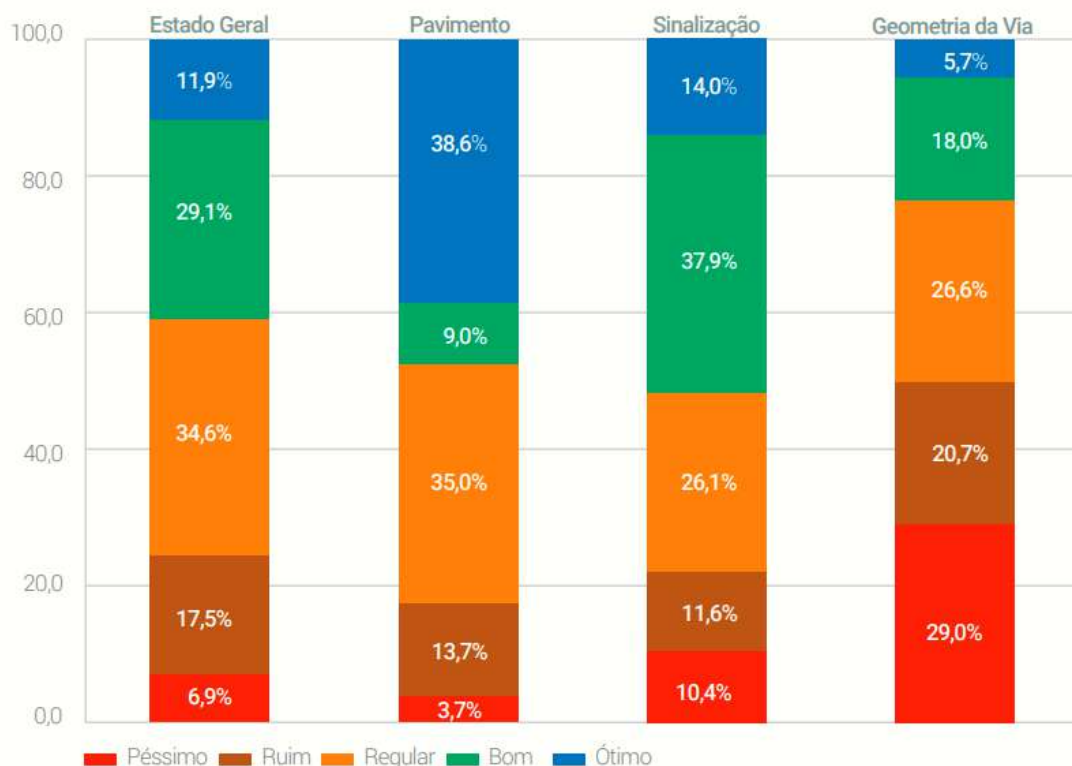
5	RESULTADOS	35
5.1	Incorporação do resíduo	35
5.2	Penetração.....	37
5.3	Ponto de amolecimento	37
5.4	Curva Mestra.....	38
6	CONCLUSÃO	40
7	SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS	41
	REFERÊNCIA	42

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos a demanda por infraestrutura viária no Brasil tem crescido muito, segundo a pesquisa CNT (2018) o aumento do percentual de extensão total das rodovias pavimentadas no Brasil cresceu de 2017 para 2018 aproximadamente 12,4%, o que representa um total de 213.453 km de área pavimentada.

Segundo a pesquisa CNT (2019) sobre a situação das malhas viárias brasileiras que avalia a estrutura do pavimento, sinalização e geometria da via, cerca de 59% das rodovias possuem problemas detectáveis, sejam eles de sinalização, estrutura ou de projeto. Dados estes piores que em 2018, o que indica uma falta de investimentos em fiscalização e manutenção da infraestrutura do país, já que ainda de acordo com a mesma pesquisa, onde foram avaliados 108.863 km, destes, 28.855 na região nordeste, em números gerais, apenas 11,9% das rodovias brasileiras são consideradas com ótimo estado geral de conservação como observado na Figura 1.

Figura 1 - Situação de Rodovias brasileiras segundo a pesquisa CNT de 2019.

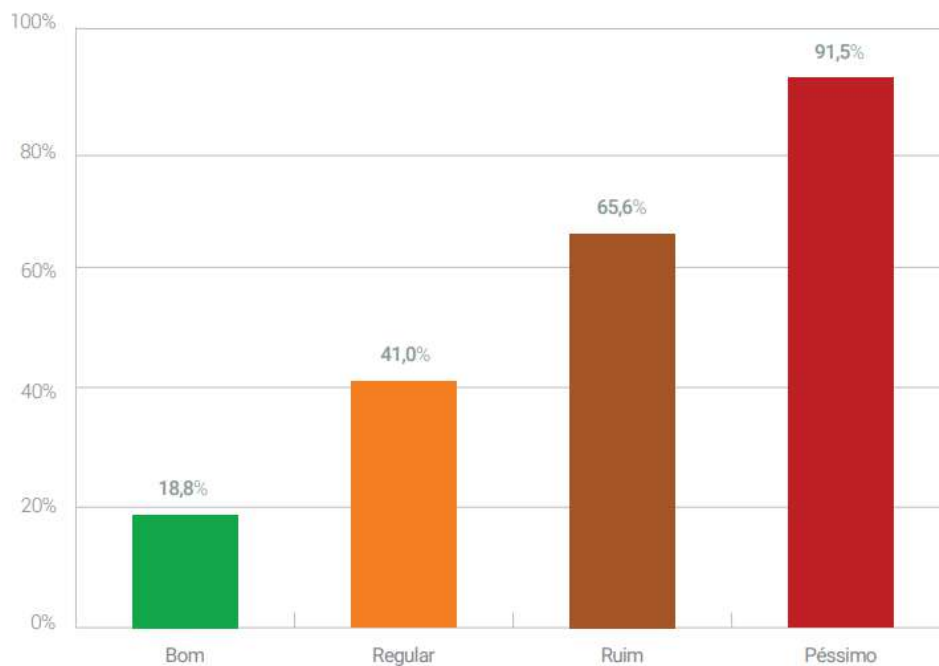


Fonte: Pesquisa CNT de Rodovias (2019).

Essa má qualidade na estrutura das rodovias brasileiras não só traz impactos negativos para o conforto do usuário, mas também acarreta consequências negativas no custo

do transporte, afetando assim socialmente e economicamente o país. Segundo a CNT (2019) o custo operacional de transportes teve uma alta média de aproximadamente 28,5%, esse custo é calculado de acordo com a qualidade das vias, pois pavimentos deficientes influenciam diretamente no custo de manutenção do veículo com o consumo de combustível, lubrificantes, pneus entre outros. Estima-se ainda que um pavimento classificado como péssimo, cenário de 91,5% das rodovias pavimentadas do Brasil (Figura 2), pode quase dobrar o custo operacional.

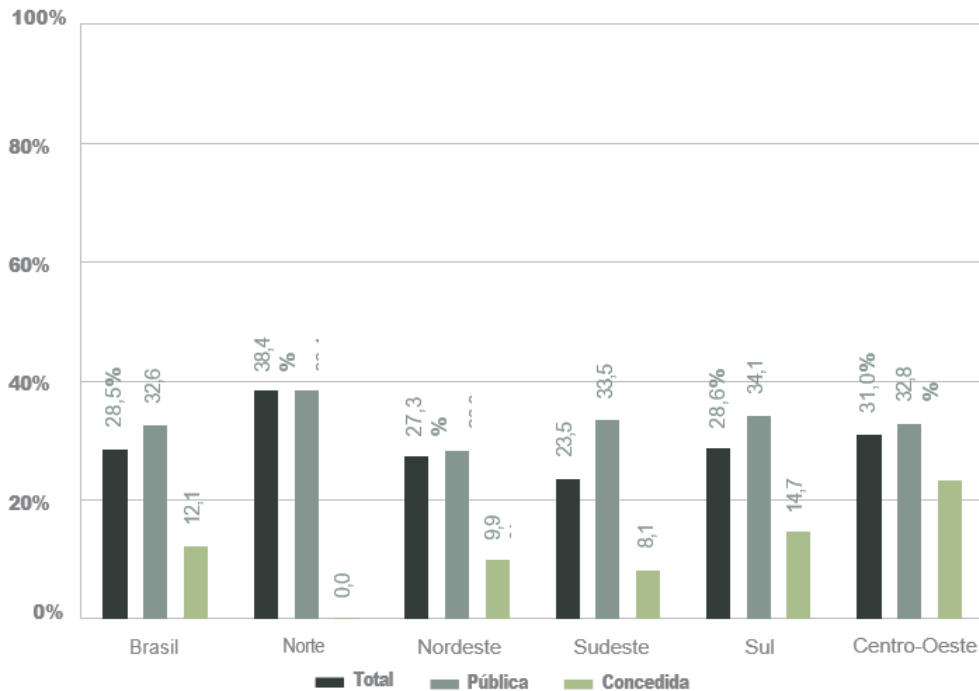
Figura 2 - Qualidade das Rodovias Pavimentadas do Brasil.



Fonte: Pesquisa CNT de Rodovias (2019).

Como o transporte da mercadoria influencia diretamente no custo, isso significou um aumento nos preços de insumos e bens de produção que tem como meio de escoamento o modal rodoviário, para as empresas, e de bens de consumo, para a população comprometendo a competitividade no mercado. Na Figura 3 observa-se o custo operacional de vias concedidas e públicas, dividido por região do país, mostrando que a região Norte influencia diretamente nos números ruins da pesquisa.

Figura 3 - Custo Operacional de Rodovias Concedidas e Públicas por Região do Brasil.



Fonte: Pesquisa CNT de Rodovias (2019).

Levando em consideração todos os fatores acima citados é perceptível a precariedade e a falta de investimentos no tocante ao transporte no Brasil, principalmente no setor público, já que de 2016 a 2018 o investimento por parte do setor privado foi cerca de três vezes maior que o mesmo, apesar desta aplicação de capitais, a CNT estima que para a reconstrução e restauração da infraestrutura rodoviária no Brasil, seria necessário um investimento de aproximadamente 38,6 bilhões de reais, algo bem distante da realidade, já que até setembro de 2019 foram investidos apenas 4,78 bilhões dos 6,2 bilhões autorizados pelo governo, ainda de acordo com a mesma pesquisa, com esse ritmo de investimentos, o valor tende a ser menor a cada ano, tendo assim prejuízos aparentes nas rodovias do país.

Com o crescimento descontrolado da malha pavimentada e o aumento do fluxo de veículos pesados nas estradas, existe a necessidade de pavimentos que possam resistir a cargas cada vez maiores, sendo assim a durabilidade da estrutura é um ponto bastante estudado.

Segundo (BERNUCCI *et al.*, 2006) um dos principais fatores que influenciam na qualidade e na durabilidade da estrutura de um pavimento é a camada de revestimento, podendo esta ser composta de material asfáltico flexível ou rígido, sendo o revestimento asfáltico o mais comum, este por sua vez é composto por agregados e ligantes asfálticos convencional ou modificado.

A busca por melhorias nas condições do pavimento tem levado a estudos para a

criação de novas técnicas e tecnologias que contribuem para o conforto e segurança do usuário, além do aumento da vida útil do pavimento.

Atualmente a sustentabilidade tem sido um dos focos destes estudos, já que os desperdícios e a poluição têm se mostrado cada vez mais presentes, trazendo impactos negativos nos últimos anos não só no Brasil, mas em todo o cenário mundial.

A sacola plástica, por sua vez é um dos materiais ponderados em estudos como estes, tanto pela sua produção que no Brasil soma mais de 210 mil toneladas por ano, chegando a aproximadamente 9,7% de todo lixo do país, quanto pela vida útil extremamente alta do material, que pode chegar a 400 anos para sua completa decomposição (SAON *et al.*, 2007). Aliando isso a distribuição gratuita desse material em supermercados desde os anos 70, o consumidor tem contribuído de forma passiva para um desastre ambiental.

Especificamente falando das sacolas de supermercado, as quais são o foco deste trabalho, estas são constituídas por plástico filme, produzido a partir de uma resina chamada Polietileno de Baixa Densidade (PEBD) e esse material possui densidade de 0,910 e 0,949 g/cm³ (COUTINHO *et al.*, 2003).

Estudos em laboratório feitos por GUSMÃO (2009), usando Terpolímero Elastomérico Reativo (RET) para serviços de restauração rodoviária em trechos da BR –116 em Minas Gerais, tiveram resultados positivos quanto as propriedades mecânicas da mistura asfáltica modificada, o que serviu, juntamente com o propósito sustentável, como um incentivo para a utilização de materiais plásticos, como as sacolas distribuídas em supermercados, incorporados no asfalto.

1.1 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está dividido em sete capítulos, onde no primeiro capítulo é abordada situação das malhas viárias brasileiras, contextualização geral do trabalho e justificativa da pesquisa, embasando os objetivos citados no capítulo 2. No capítulo 3 é feita a revisão bibliográfica que baseia toda a monografia, explicando termos e métodos usados, além de explicar sobre os objetos de estudo e fazer referência a trabalhos acadêmicos com linhas de pesquisa similares. No capítulo 4 é descrita a metodologia utilizada. No capítulo 5 são dispostos os resultados obtidos a partir da metodologia aplicada. No capítulo 6 são elaboradas as conclusões sobre os resultados e no capítulo 7 são feitas sugestões para melhorias em trabalhos futuros.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

- Avaliar as alterações das propriedades físicas do ligante modificado com o resíduo da sacola plástica em comparação com o ligante convencional.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar ensaios empíricos para caracterizar o ligante modificado com o resíduo da sacola plástica;
- Comparar os resultados obtidos com o ligante convencional;
- Determinar qual teor de gera o melhor resultado nos ensaios.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Neste capítulo, será abordada a revisão da literatura, abordando temas referentes ao uso dos ligantes modificados na pavimentação. Entre os assuntos abordados estão: Ligante asfáltico, ligante modificado e sacola plástica.

3.2 LIGANTE ASFÁLTICO

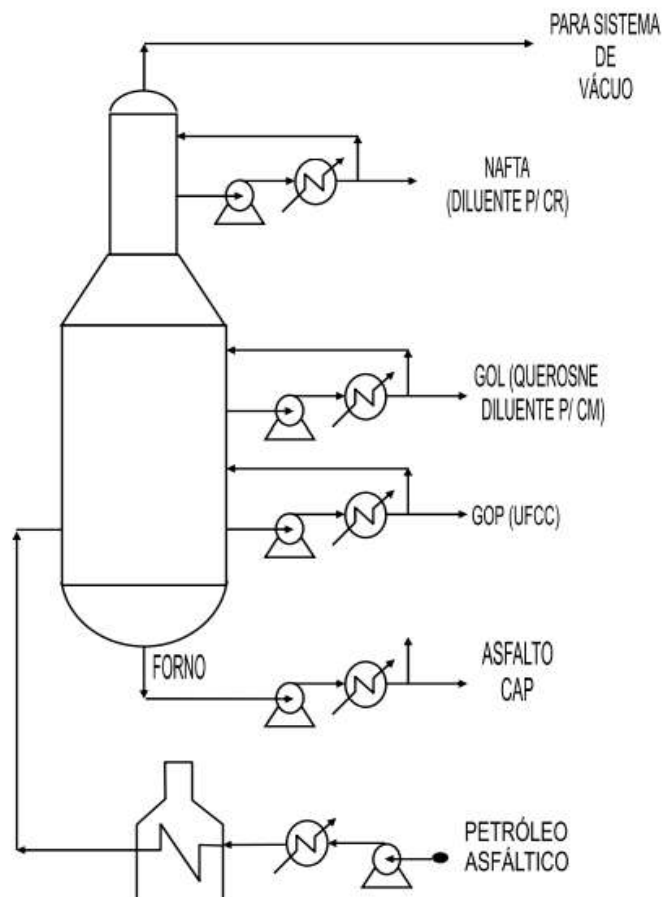
3.2.1 Produção

Segundo Mothé (2009), o petróleo por ser um produto responsável por um grande gasto energético no planeta, tem sido foco de estudos para criação de técnicas e tecnologias com o propósito de ter quase 100% de aproveitamento dos materiais resultantes do seu refino. Dentre esses materiais está o asfalto, no Brasil denominado de CAP (Cimento Asfáltico de Petróleo), que é produzido a partir da destilação do petróleo cru, possuindo propriedades adesivas viscotermoplásticas, e tendo como principal foco a utilização na pavimentação, pois é pouco reativo e impermeável à água.

O petróleo pode ser encontrado em jazidas terrestres ou marítimas, sendo produzido naturalmente, a partir da matéria orgânica proveniente de animais e plantas, submetida à pressão de camadas sedimentares que são depositadas e temperaturas extremamente elevadas durante milhões de anos.

Para que haja um aproveitamento total do petróleo, deve ser feita destilação, que é um processo físico de separação de produtos. Esse processo permite que o óleo cru seja fracionado, de acordo com a temperatura de ebulição, gerando produtos diferentes em cada faixa de temperatura. No caso específico do asfalto formado basicamente por hidrocarbonetos, seu peso molecular é elevado e faz-se necessário um processo diferente, sendo ele a destilação a vácuo (Figura 4), que separa as frações mais pesadas do petróleo.

Figura 4 – Produção de asfalto de forma simplificada



Fonte: Guarçoni (1996).

3.2.2 Química do Asfalto

Segundo (BERNUCCI *et al.*, 2006), o asfalto é definido como uma mistura de hidrocarbonetos advindos do petróleo, de forma natural ou por destilação. Essa mistura pode ainda conter oxigênio e nitrogênio, e se dividir em grupos distintos.

Esses grupos podem se diferenciar desde as propriedades físicas, quanto às propriedades químicas, podendo ser encontrado em cores escuras viscosas, até líquidos de cor castanha. A consistência e qualidade do asfalto dependem diretamente da qualidade do petróleo, isso da margem a uma infinidade de tipos de ligante. Apesar dessa diversidade, o asfalto em linhas gerais, é composto de 90 a 95% de hidrocarbonetos e 5 a 10% de heteroátomos (oxigênio, enxofre, nitrogênio e metais), onde há a presença de ligações covalentes fortes (BERNUCCI *et al.*, 2006).

A diferença química além de variar com a região em que o Petróleo foi depositado, tempo e condições de pressão e temperatura como mostra a Tabela 1, também está relacionada com o tipo de fracionamento que é submetido e com o número de átomos de carbono por molécula, podendo variar de 20 a 120 átomos. Essa composição química influencia diretamente nas propriedades físicas e mecânicas das misturas asfálticas, podendo trazer resultados melhores ou piores, na resistência geral do revestimento no pavimento.

Tabela 1 - Composição Química do Petróleo de acordo com seu local de origem.

ORIGEM	MÉXICO	VENEZUELA	EUA	BRASIL	BRASIL	ORIENTE MÉDIO
REFINARIA	-	RLAM - Bahia	-	Regap - Minas Gerais	Replan - S. Paulo	Reduc - Rio de Janeiro
CARBONO %	83,8	82,9	86,8	86,5	85,4	83,9
HIDROGENIO %	9,9	10,4	10,9	11,5	10,9	9,8
NITROGÊNIO %	0,3	0,8	1,1	0,9	0,9	0,5
ENXOFRE %	5,2	5,4	1	0,9	2,1	4,4
OXIGÊNIO %	0,8	0,3	0,2	0,2	0,7	1,4
VANÁDIO ppm	180	1380	4	38	210	78
NÍQUEO ppm	22	109	6	32	66	24

Fonte: BERNUCCI *et al.* (2006).

3.2.3 Caracterização do Ligante Asfáltico

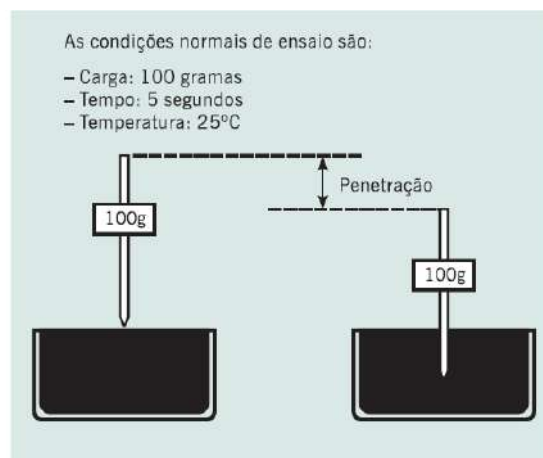
O ligante asfáltico pode ser caracterizado de acordo com suas propriedades físicas, para isso são utilizados alguns ensaios, chamados de ensaios de caracterização. Todos os ensaios desse material têm a temperatura controlada e estabelecida por norma, pois todas as propriedades físicas desse material estão associadas à sua temperatura (BERNUCCI *et al.*, 2006).

Em temperaturas muito baixas o ligante tem características sólidas, devido à disposição muito unida das moléculas, que não conseguem se mover, deixando a viscosidade alta, ao contrário de altas temperaturas, onde o ligante se comporta de forma mais líquida, dando maleabilidade ao material. Para o aferimento dessas propriedades de viscosidade e resistência, existem muitos ensaios, porém para o presente trabalho serão considerados os seguintes:

- Ensaio de Penetração: É regido pela norma DNIT 155/2010, e através de equipamentos específicos (Figura 5) é medida a profundidade em décimos de milímetros, que uma agulha padrão (100g), perfura uma amostra de massa conhecida, durante o tempo de 5 segundos, em temperatura ambiente (25 °C). No ensaio são obtidos três resultados de penetração e a média obtida é o valor da penetração requerida.

A consistência do CAP é tanto maior quanto menor for a penetração da agulha. O resultado do ensaio de penetração além de determinar a consistência do ligante asfáltico também é utilizado no Brasil para classificá-lo.

Figura 5 - Esquema básico do ensaio de Penetração.



Fonte: BERNUCCI *et al.* (2010).

- Ensaio de ponto de Amolecimento: É regido pela norma DNIT 131/2010, e consiste em

uma medida empírica que determina a temperatura em que o ligante amolece, e atinge uma condição de escoamento.

Este ensaio além de estar presente em critérios classificatórios de ligantes, ele determina uma estimativa para suscetibilidade térmica, que é uma propriedade indicativa da influência de diferentes temperaturas na consistência do asfalto. Esse é considerado um dos principais ensaios para ligantes modificados. A Figura 6 mostra o passo a passo do ensaio.

Figura 6 – Momento em que é medido o ponto de amolecimento



Fonte: Mascarenhas (2014).

- Viscosidade Brookfield: Esse ensaio é feito com um viscosímetro e tem como resultado

a medida da resistência por escoamento do cimento asfáltico.

A viscosidade serve para parâmetro de correção na hora da mistura entre o ligante e o agregado, sendo a consistência do material um dado importante para proporcionar uma boa aderência na mistura. Segundo Domingos *et al.*, (2012), uma viscosidade adequada para boa trabalhabilidade do material tem o limite de 3 Pa.S, e em via de regra de acordo com estudos feitos pelos mesmos autores, a viscosidade aumenta de acordo com o tipo e a proporção de agentes modificadores na mistura e conseqüentemente aumentam também as faixas de temperatura de usinagem e de compactação se comparado com o ligante puro. Apesar de ser um ensaio bem usual, geralmente não é capaz de quantificar as características reológicas intrínsecas de grupos diferentes de ligantes asfálticos modificados.

3.3 LIGANTES MODIFICADOS

Segundo BERNUCCI *et al.*(2006), os ligantes convencionais tem comportamento satisfatório, no que diz respeito a resistência, em trechos com baixo fluxo e tráfego de veículos leves, porém com o crescente aumento do número de veículos de cargas variadas, se tornou cada vez mais comum a aplicação de modificadores no ligante asfáltico, responsáveis por melhorar alguma propriedade física do material, seja essa melhora para com alterações climática (Verão-inverno) e de temperatura, ou aumento das cargas na via.

Existem diversos tipos de modificadores, podendo ser eles polímeros, resíduos e outros, porém serão abordados neste trabalho, alguns que possuem relevância para o mesmo.

3.3.1 Ligantes Modificados com Polímeros (EVA, SBS e RET)

Um polímero segundo (SHINOHARA *et al.*, 2011) é uma macromolécula formada pela união por ligações covalentes de outras moléculas menores chamadas monômeros. Este material tem sido amplamente usado em estudos na incorporação em misturas asfálticas, apresentando resultados positivos, melhorando o comportamento elástico e propriedades como a resistência a deformação permanente e ao envelhecimento. Outros estudos ainda apontam uma melhora na adesão e adesividade do agregado ao ligante (BRINGEL *et al.*, 2005).

De acordo com LEITE (1999), os polímeros possuem quatro classificações principais, podendo ser:

- Termorígidos: São aqueles que não derretem, e após serem aquecidos a uma temperatura definida pela sua composição química, endurecem de forma irreversível.

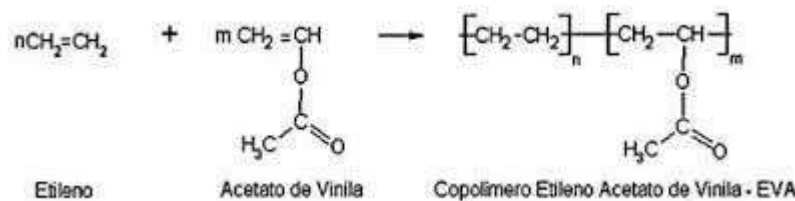
- Termoplásticos: São aqueles que por possuírem ligações mais fracas entre as moléculas, se fundem a uma temperatura que depende da estrutura molecular e podem se tornar mais trabalháveis, com uma fluidez maior, sendo essa condição reversível.
- Elastômeros: Apresentam propriedades semelhantes a da borracha, e não possuem uma fusão bem definida. O material se decompõe ao ser aquecido.
- Elastômeros Termoplásticos: Apresentam características termoplásticas ao serem aquecidos, porém em temperaturas ambientes e mais baixas, possuem características de plástico.

Entre os polímeros mais estudados atualmente estão EVA (copolímero de etileno e acetato de vinila), SBS (copolímero de estireno e butadieno) e RET (Terpolímero Elastomérico Reativo), que serão apresentados a seguir.

3.3.2 Ligantes Modificados com EVA

O Copolímero de Etileno e Acetato de Vinila (EVA) tem propriedades termoplásticas, dependendo da proporção de acetato encontrado na mistura, poder possuir características parecidas com as de um polímero de baixa densidade ou de um elastômero (Leite, 1999). Esse modificador é produzido a partir da copolimerização de monômeros de acetato de vinila e etileno (Figura 7). Esse material tem sido bastante utilizado na indústria de calçados, substituindo alguns tipos de borracha e plástico, e em materiais expansíveis e reticulados transformados por injeção e pressão. Segundo Freitas (1996), o EVA é usado como modificador em muitos países, como França e Espanha.

Figura 7 - Estrutura do EVA



Fonte: Medeiros (2016).

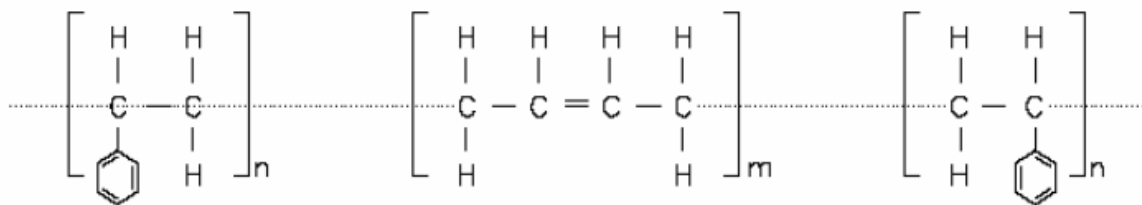
De acordo com (FROTA *et al.*, 2001), da Universidade Federal do Amazonas (UFAM), onde foi feito um estudo comparativo do ligante modificado com EVA e o convencional, a fim de melhorar as características reológicas do material, a incorporação de 4%

do Copolímero de Etileno e Acetato de Vinila ao CAP 50/70, indicou um aumento da viscosidade, com maior temperatura para o ponto de amolecimento e menor valor no ensaio de penetração em relação ao cimento asfáltico convencional, além de ser mais fácil o processo de solubilização nas frações saturadas do ligante, ou seja, existe uma facilidade no tocante a incorporação do material.

3.3.3 Ligante Modificados Com SBS

Segundo Veromese (2003), o copolímero de estireno e butadieno é um composto da família dos elastômeros termoplásticos e pode ser obtido por diferentes formas de estruturas, dependendo dos monômeros aplicados, são essas formas, as lineares e as radiais. Porém a forma mais comum de obtenção é a sequencial, que após a polimerização aniônica que normalmente utiliza butil-lítio como iniciador (Figura 8). Esse material possui diversas aplicações, sendo utilizado desde rodas e assentos de brinquedos, até em tapetes antiderrapantes, amortecedores e guarnições de irrigadores para agricultura.

Figura 8 - Estrutura do SBS



Fonte: DNER (1998).

Domingos e Faxina (2013) fizeram estudos em que o SBS era incorporado ao ligante, sendo utilizadas misturas com 5, 10, 15 e 20% do polímero, e de forma geral concluíram que o modificador resultou de forma positiva, em um aumento dos percentuais de recuperação do pavimento. Além disso, o material modificado aumentou o nível de tráfego suportado, diminuindo de forma significativa a deformação permanente de toda a estrutura. Os mesmos autores afirmaram que as propriedades atingidas pelo ligante podem ser transferidas para a mistura, conferindo uma maior recuperação elástica levando em consideração a grande influência dele na mistura como um todo.

3.3.4 Ligante Modificado Com RET

O Terpolímero Elastomérico Reativo (RET) é classificado como um elastômero e teve seu desenvolvimento a partir de 1988, quando era procurado um material com as mesmas, ou similares propriedades viscoelásticas do asfalto. O RET diferentemente dos outros polímeros é formado por três monômeros, fazendo referência ao termo “Ter”, Etileno, Butil Acrilato e Glicidil Metacrilato. Já em relação ao termo “Reativo”, o RET possui essa nomenclatura pelo fato de reagir quimicamente com o asfalto, resultando em um composto inseparável (NEGRÃO *et al.*, 2005).

NEGRÃO (2006) fez estudos na Universidade de São Paulo com ligantes modificados com RET em laboratório, onde foram usados o CAP 20 e CAP 40, com o acréscimo de 1%, 1,5% e 2% de RET, e teve como resultado, uma redução no ensaio de penetração em comparação ao ligante convencional. Com o uso de dois tipos de ligante (CAP 20 e CAP 40), foi feito o ensaio de ponto de amolecimento, e percebeu-se que há uma relação diretamente proporcional entre a quantidade de RET e o ponto de amolecimento da mistura, que por sua vez impacta de forma semelhante na deformação permanente, ou seja, quanto maior a quantidade de Terpolímero Elastomérico Reativo, maior a resistência da mistura à deformação permanente.

3.3.5 Ligantes Modificados Com Resíduos Naturais

Apesar do viés sustentável que os polímeros em aplicação conjunta ao ligante têm trazido a tona no cenário atual de crescente aumento da produção de lixo, a utilização destes agentes modificadores no asfalto faz com que o preço final do produto seja ainda mais caro que o convencional, além disso, a dificuldade de aderência do polímero ao ligante pode ocasionar uma separação de fases, dificultando além da estocagem do material, a sua aderência.

Levando em consideração esses fatores negativos, estudos recentes têm apontado além de polímeros, outras substâncias que ao serem incorporadas ao ligante asfáltico, têm trazido melhoras significativas no desempenho do pavimento. Um dos resíduos naturais foco desses estudos tem sido o Líquido da Castanha de Caju (LCC), que trouxe ótimos resultados quando aplicada em combustíveis e lubrificantes, graças a sua propriedade anfílica que proporcionou uma boa absorção de superfície, melhorando algumas de suas propriedades (DANTAS *et al.*, 2003).

Estudos como o de Rodrigues (2010) com a aplicação conjunta do LCC como

aditivo ao SBS e ao ligante asfáltico apontam que o custo de produção de asfalto pode cair com o uso desse material, já que os aditivos comerciais comuns têm o custo elevado, e o Líquido da Castanha de Caju é um subproduto da indústria do caju.

Rodrigues (2010) utilizou as porcentagens de cada material de acordo com a Figura 9, e teve como resultado que os ligantes modificados com SBS e SBS+LCC tiveram ensaios com melhores desempenhos reológicos como deformação permanente e elasticidade. Além disso, o LCC ainda diminuiu a viscosidade do material quando aplicado junto com o SBS, resultado considerado potencialmente útil para o autor, já que a alta viscosidade é um produto dos ligantes modificados com polímeros, e tal resultado pode diminuir o custo energético com o processamento do cimento asfáltico preservando as propriedades do mesmo.

Figura 9 - Porcentagens de material usadas no estudo.

LA + 3% SBS

LA + 3% SBS + 1 % LCC

LA + 4% SBS

LA + 4% SBS Alto Cisalhamento

LA + 4% SBS + 1% LCC

LA +4,5% SBS

LA +4,5% SBS + 1% LCC

Fonte: RODRIGUES (2010).

Fernandes (2010) também trabalhou com o LCC em conjunto com o ligante asfáltico 50/70 incorporado com ácido fosfórico (PPA), aplicando as porcentagens listadas na Figura 10 e teve como resultado o mesmo de Rodrigues (2010), onde houve uma diminuição da viscosidade acarretando uma menor temperatura de usinagem e compactação, o autor ainda complementou que o LCC melhora a suscetibilidade térmica, além de aumentar a resistência ao envelhecimento do material.

Figura 10 - Porcentagens de material usados no estudo.



Fonte: FERNANDES (2010).

3.4 SACOLA PLÁSTICA

3.4.1 Fabricação

Introduzidos na década de 1970, os sacos plásticos utilizados em supermercados são fabricados a partir de processos chamados de inflação e extrusão. O processo de extrusão é a passagem forçada do polímero matéria prima do filme plástico em um tubo oco, que leva todo o material para um compartimento em que o polímero é derretido e alvejado por um jato de ar de fluxo contínuo, para que as paredes resultantes da corrente de ar não grudem umas nas outras, formando uma película de filme plástico. Após o resfriamento as bobinas de plástico são levadas para o setor onde são cortadas e personalizadas.

3.4.2 Química

Existem hoje no mercado, muitos tipos de sacolas plásticas com estruturas químicas diferentes, porém neste trabalho, foram escolhidos resíduos provenientes de sacolas de Polietileno que podem ser divididas em:

- Polietileno de baixa densidade (PEBD ou LDPE)
- Polietileno de alta densidade (PEAD ou HDPE)
- Polietileno linear de baixa densidade (PELBD ou LLDPE)
- Polietileno de ultra alto peso molecular (PEUAPM ou UHMWPE)

- Polietileno de ultra baixa densidade (PEUBD ou ULDPE)

Para a coleta mais fácil do material, foram escolhidas para a aplicação neste trabalho as sacolas de Polietileno de Baixa Densidade.

O Polietileno de Baixa Densidade é um polímero parcialmente cristalino, e segundo Coutinho, Mello e Maria (2003) a temperatura onde esse material começa a escoar é de aproximadamente 115°C. Sua estrutura química é dividida em diversas cadeias ramificadas, por vezes maiores que a cadeia principal do polímero, que possui átomos de carbono na casa das centenas ou dezenas durante toda a estrutura.

Essas ramificações possuem efeitos acentuados sobre a viscosidade do polímero em uma solução, além disso, a quantidade de ramificações na cadeia molecular do material acaba por interferir diretamente na cristalização do material e nas temperaturas de mudança de estados físicos (Coutinho; Mello; Maria, 2003).

3.4.3 Resíduo

Será utilizado neste estudo sacolas plásticas de Polietileno de Baixa Densidade (PEBD), o resíduo será cortado com tesoura até atingir aproximadamente 1 cm². Apesar de não terem sido feitos ensaios de caracterização física ou química do material, assume-se que por serem provenientes de resíduos de sacolas plásticas do mesmo supermercado, não haveria diferenças significantes.

3.4.4 Impacto Ambiental

As sacolas plásticas são grandes responsáveis pela contaminação do meio ambiente, se acumulando em lixões a céu aberto, interferindo em cursos d'água afetando toda a vida ali presente, enquanto sua decomposição ocorre de forma extremamente lenta, cerca de 400 anos.

Os impactos ambientais dos sacos plásticos começam a partir da sua produção, que com a utilização de combustíveis fósseis, contribui com a emissão de gases poluentes. Segundo o Instituto Ressoar (2011), são emitidas aproximadamente 42 toneladas de CO₂ para a obtenção de 1 milhão de sacos plásticos.

Além dos impactos negativos com a produção, por serem leves são transportados pelo vento, distribuindo-se pela cidade e aumentando sua área de contaminação, causam não só poluição visual, como também entopem bueiros e galerias de esgoto contribuindo com enchentes e a proliferação de agentes causadores de doenças.

Na fauna, as sacolas plásticas são comumente confundidas com alimentos, um exemplo clássico disso, são as tartarugas marinha, que confundem esse material com águas vivas, que são seu principal alimento, e acabam por morrerem sufocadas.

Apesar de ainda estarem no começo, medidas para a conscientização da população, já tem sido tomada em todo mundo, com a abolição ou diminuição do uso das “sacolinhas”. Supermercados de alguns lugares incluindo Brasil, já cobram pelo uso desse tipo de material, influenciando a população a utilizar sacolas de pano reutilizáveis. Tais medidas tem sido um passo a frente para a humanidade, que de 2007 para 2010, segundo a Associação Brasileira de Supermercados - ABRAS (2011) teve uma redução no uso de sacolas plásticas por brasileiros de 26,3%, totalizando um consumo de 13,2 bilhões de sacolas no país.

Apesar dessa redução e das medidas tomadas, deve-se considerar que o consumo desse material ainda é bastante alto, e o conceito de sustentabilidade ainda está bastante longe de ser uma realidade, deve-se então continuar a luta diária para reduzir esse consumo.

3.4.5 Medidas Corretivas

O conceito de reutilização está atrelado a sustentabilidade, que foi segundo Santos *et al.* (2012) posto em pauta a partir do momento em que se constatou que grande parte dos produtos provenientes da natureza eram finitos, e com o crescente aumento populacional, estes produtos seriam insuficientes em alguns anos.

Nesse cenário, as sacolas plásticas são um dos principais vilões, devido a grande produção em todo mundo, e sua decomposição ocorrer de forma extremamente lenta. Para a redução dos impactos negativos ocasionados por este material, tem-se como primeiros passos segundo Santos *et al.* (2012), a redução e a melhor destinação pós uso da produção, que desde 1987 com a reunião feita pela Comissão Mundial do Desenvolvimento e Meio Ambiente, tem sido foco de países desenvolvidos, não só para melhorar a qualidade de vida da geração presente, mas também das futuras.

Alguns métodos para reaproveitar sacolas já foram desenvolvidos em pesquisas como a de Telles, Saran e Unêda-trevisolli (2011), que analisaram a obtenção de informações a respeito da produção, das propriedades e das aplicações do Bioplástico. Esse material por não ser produzido a base de petróleo, e sim por um recurso renovável, possui características peculiares, como a velocidade de decomposição na natureza muito maior, que a dos plásticos convencionais. No que se refere à Biopolímeros, segundo Telles, Saran e Unêda-trevisolli (2011) recentemente foi descoberto que o bagaço da cana de açúcar pode produzir um

polihidroxibutirato, um material com características similares aos polímeros. Esse material é produzido a partir da ação de bactérias dentro da cana de açúcar, e pode ser usado, não só na fabricação de sacolas plásticas, como também de vasos, colheres e outros objetos.

Outros trabalhos acadêmicos mostram que a reciclagem é uma das melhores saídas para o consumo exacerbado dos sacos plásticos. Estudos como os de Queiroz e Garcia (2010), mostram que os indicadores de consumo e emissões diminuem à medida que aumenta a taxa de reciclagem, já que, as vantagens da reciclagem estão concentradas nos indicadores relacionados principalmente com a produção de polietileno e volume usado para disposição final das embalagens no pós-consumo.

4 METODOLOGIA

4.1 PREPARAÇÃO DO RESÍDUO DA SACOLA PLÁSTICA (SP) COM O LIGANTE ASFÁLTICO (LA)

Foram coletados e selecionados resíduos de sacolas plásticas em supermercados, onde estes terão características físicas e químicas semelhantes, sendo de Polietileno de Baixa Densidade (PEBD), para que não haja interferências no resultado.

Após a coleta, o material foi cortado em pedaços pequenos com uma tesoura (Figura 11), já que segundo Lucas Júnior (2018), pedaços de sacola menores possuem uma afinidade maior com o ligante, tornando a incorporação desse agente modificador mais fácil.

Figura 11 - Dimensão da sacola plástica picada



Fonte: Próprio Autor, 2020

Figura 12 - Material pronto para incorporação



Fonte: Próprio Autor, 2020.

Com a amostra preparada, foi incorporada ao ligante por meio de um misturador (Figura 13), a uma temperatura de 180 °C com a rotação do misturador em aproximadamente 1200 RPM (Rotações por Minuto) durante 2 horas.

Figura 13 - Misturador utilizado na incorporação da sacola plástica ao ligante



Fonte: Próprio Autor, 2020.

4.2 ENSAIO DE PENETRAÇÃO - DNIT 155/2010-ME

A penetração que caracteriza o material, é medida pela profundidade que uma agulha de dimensões e massa padronizada (100g) penetra no material, sob condições estabelecidas de temperatura, carga e tempo.

Para a preparação da amostra, é necessário transferir o conteúdo aquecido para um recipiente e esperar o resfriamento dele em banho maria a temperatura de 25 °C por 30 minutos. Logo em seguida o material foi transferido para o aparelho de penetração (Figura 14), onde foi submetido a três penetrações distantes pelo menos 1 cm uma da outra com o tempo de 5 segundos.

Figura 14 - Equipamento Utilizado para Penetração (LMP).



Fonte: Mascarenhas (2014).

4.3 ENSAIO DE PONTO DE AMOLECIMENTO - DNIT 131/2010 – ME

O ponto de amolecimento é ensaiado a partir da introdução do material asfáltico em dois anéis de latão padronizado e sob ele é colocado uma esfera maciça de aço de massa de 3,5g, o conjunto é então aquecido na taxa de 5 °C/ minuto e conforme a temperatura aumenta a viscosidade do CAP diminui. Quando o asfalto amolece e não suporta mais a pressão da esfera,

a esfera e o asfalto se deslocam para o fundo do béquer e a temperatura nesse momento é medida. Essa propriedade física é medida a partir da temperatura em que asfalto escoou sob o peso da esfera e toca o fundo do recipiente. o esquema pode ser visualizado através da Figura 15.

Figura 15 - Montagem do ensaio de ponto de amolecimento



Fonte: Próprio Autor, 2020.

4.4 CURVA MESTRA

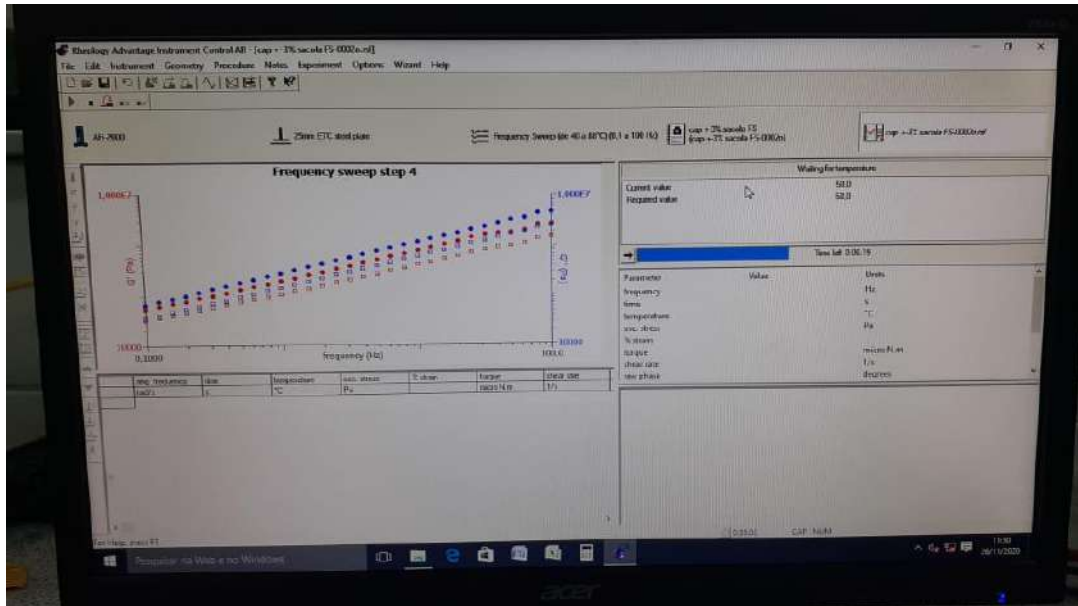
A curva mestra é uma ferramenta que pode ajudar na interpretação do comportamento de materiais viscoelásticos como o ligante asfáltico, em decorrência do tempo e da temperatura (CRAVO, 2016, p. 72).

De acordo com o mesmo autor, com o aparelho chamado reômetro de cisalhamento dinâmico, são obtidos coeficientes quaisquer como o “ G^* ”, em função do tempo ou da frequência de carregamento, projetando assim uma estimativa de tendência com variações de temperatura, frequência e tempo.

Para a construção da curva mestra é necessário fazer a varredura de frequência em diferentes temperaturas. Logo após essa varredura de acordo com o Princípio de Superposição Tempo-Temperatura com relação aos materiais com regime viscoelástico linear, são obtidas as demais curvas mestras ao longo do eixo em escala logarítmica em função da temperatura ou

tempo de exposição do carregamento, como mostrado na Figura 16 (CRAVO, 2016, p. 72).

Figura 16 - Dados da varredura de frequência original para múltiplas temperaturas



Fonte: Próprio Autor, 2020

Dessa forma são obtidos os resultados do comportamento do material com baixas frequências a altas temperaturas e baixas velocidades de carregamentos. Baixas frequências indicam altas temperaturas, ou altas velocidades de carregamento. Em resumo, é possível através da curva mestra realizar a previsão do comportamento do material em diferentes frequências ou tempos de carregamento, a partir de uma temperatura, podendo assim o material ser testado sem sua aplicação no campo, mas com os mesmos efeitos.

5 RESULTADOS

5.1 INCORPORAÇÃO DO RESÍDUO

Na incorporação dos resíduos da sacola no CAP puro, houveram problemas em relação ao método, já que com a rotação do misturador, a corrente de vento fazia com que a sacola moída ficasse presa nas paredes internas do aparelho, resultando em um desperdício do material (Figura 17), para garantir a fidelidade do ensaio, ele foi repetido até haver o mínimo de desperdício de resíduos.

Figura 17 - Desperdício de material modificador



Fonte: Próprio Autor, 2020.

Figura 18 - Amostras de 1, 2 e 3% respectivamente, após a incorporação

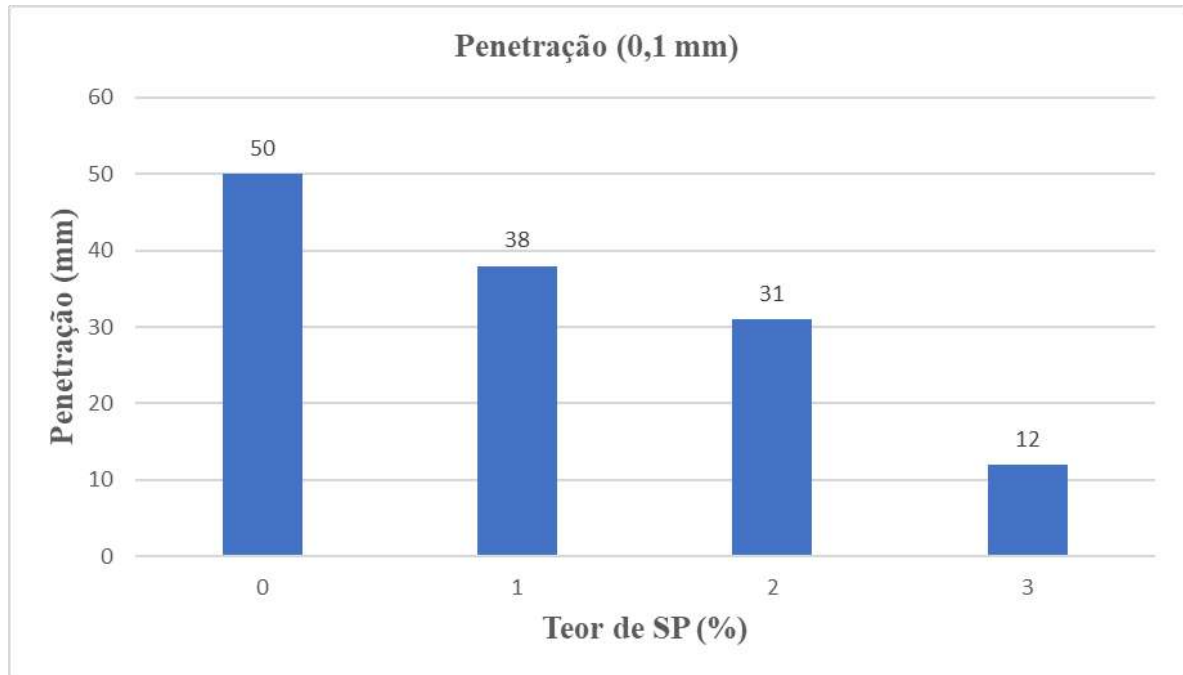


Fonte: Próprio Autor, 2020.

5.2 PENETRAÇÃO

Os valores de penetração das amostras de ligante após a modificação estão representados no gráfico da Figura 19.

Figura 19 - Penetração das amostras



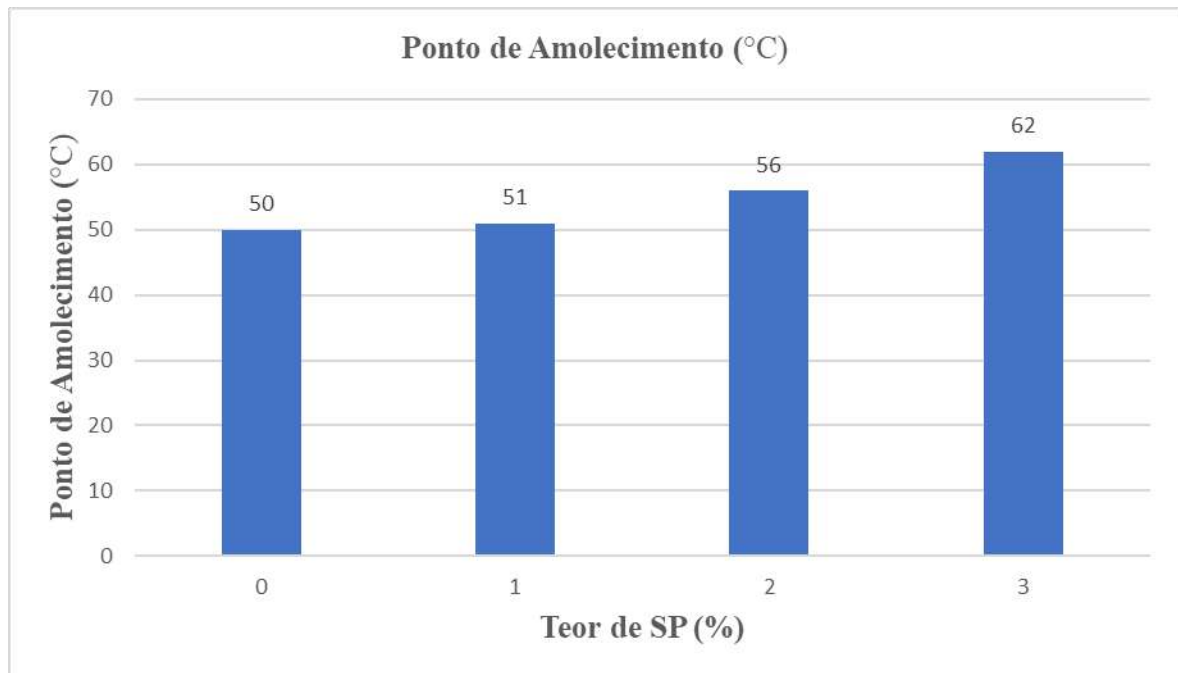
Fonte: Elaborado pelo autor, 2020

Com os dados do gráfico fica evidente o aumento da rigidez do ligante com a adição do resíduo da sacola plástica. Porém o decréscimo da penetração entre as amostras de 2 e 3% foi muito maior, o que indica uma tendência de diminuição da variação da penetração com teores acima de 3%, já que o resultado não pode variar mais que 12, a partir de porcentagens maiores.

5.3 PONTO DE AMOLECIMENTO

Os resultados do ensaio de ponto de amolecimento estão descritos no gráfico da Figura 20.

Figura 20 - Ponto de amolecimento das amostras



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020

Os ligantes modificados com o resíduo da sacola plástica tiveram sua temperatura do ponto de amolecimento aumentada em comparação ao CAP puro convencional. Esse aumento na temperatura do amolecimento tem consequências positivas a amostra, já que indica maior resistência a deformação permanente e a variação de temperaturas, sendo confirmado com outros ensaios. Além disso, foi analisado que os resultados se mostraram melhores com o aumento dos teores de resíduo na amostra.

5.4 CURVA MESTRA

A curva mestra normalizado pela ASTM D7175-15 (2015), mas para a sua criação foi utilizado o reômetro de cisalhamento dinâmico (Figura 21), realizando a varredura da frequência em hz (Hertz) no ligante asfáltico 50/70 modificado com 1, 2 e 3% de sacola plástica.

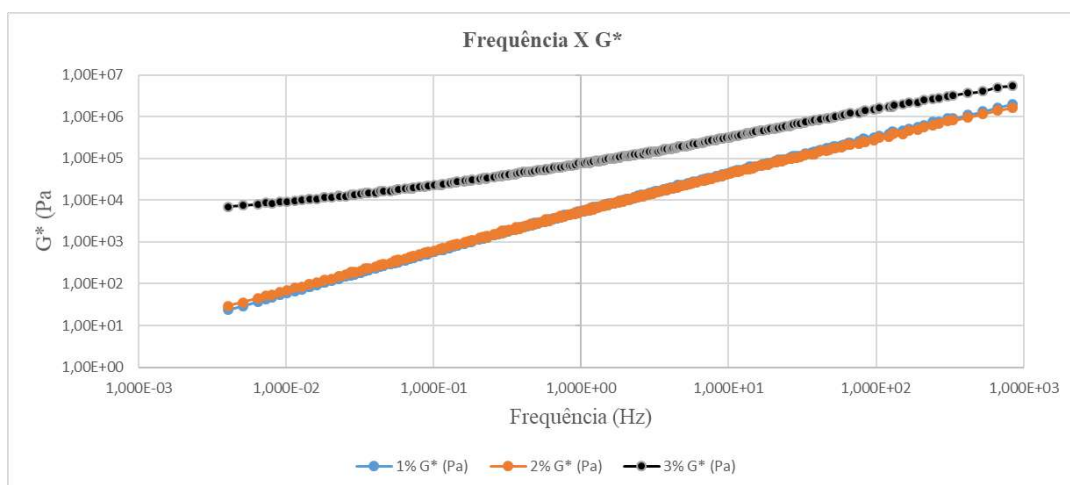
As amostras foram moldadas em moldes de silicone 3 amostras, de forma que após ajustes de volume e geometria no próprio aparelho as dimensões fossem de 8mm de diâmetro e 2mm de espessura

Figura 21 - Reômetro de Cisalhamento Dinâmico



Fonte: Próprio Autor, 2020

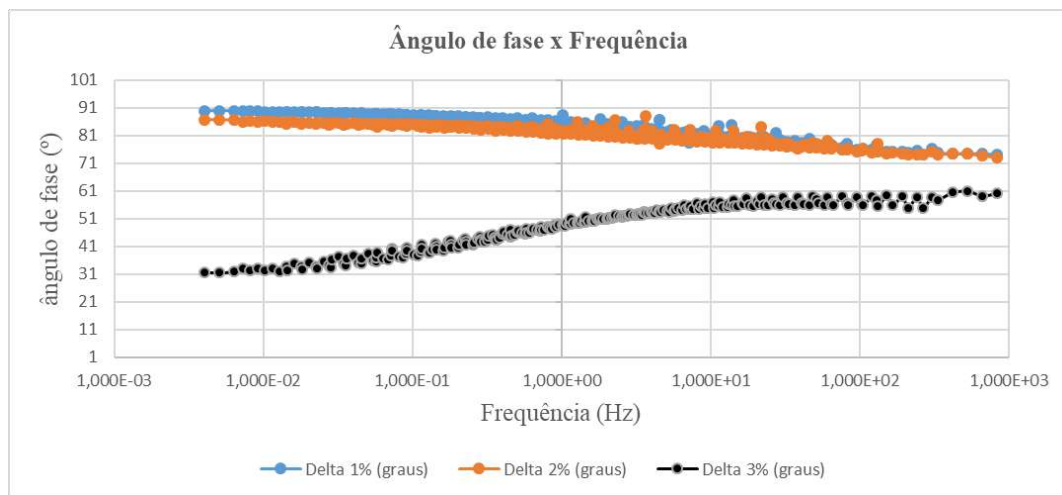
A partir da Figura 22, é possível perceber que não existe diferença significativa entre as amostras com 1 e 2% de resíduo de sacola plástica. Porém para amostra de 3%, a diferença é alta, indicando uma rigidez exagerada da amostra, o que pode ser explicada pela existência de pedaços não fundidos na amostra, portanto para fins de discussões e resultados, a amostra de 3% pode ser desconsiderada. Além disso também é analisado que a medida em que a temperatura diminui a rigidez aumenta sendo essa modificação associada ao módulo complexo (G^*).

Figura 22 - Curva Mestra do G^* em função da frequência

Fonte: Elaborado pelo autor, 2020

Com relação ao ângulo de fase, as amostras com 1 e 2% de resíduo de sacola plástica, possuem praticamente o mesmo comportamento, apesar da amostra de 2% ser menor principalmente em temperaturas mais altas, na baixa frequência, o que indica uma elasticidade um pouco maior. Com isso, infere-se que a medida em que a temperatura diminui e a frequência aumenta existe uma redução da viscosidade e um aumento da elasticidade. Em contrapartida, a amostra de 3% possui um comportamento diametralmente oposto às outras duas (Figura 23), indicando uma falha no processo, ou na composição da amostra, sendo necessários outros estudos para essa comprovação.

Figura 23 - Curva Mestra do ângulo de fase em função da frequência



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

6 CONCLUSÃO

A presente pesquisa tratou-se da incorporação de diferentes teores (1%, 2% e 3%) de resíduos da sacola plástica no ligante asfáltico 50/70, de modo a avaliar parâmetros reológicos e características físicas do modificador quando exposto a ambientes semelhantes ao do campo. O trabalho partiu da análise da bibliografia existente para embasar os teores de agente modificador utilizado, para o processo de modificação e ensaios de penetração, ponto de amolecimento com o reômetro de cisalhamento dinâmico a curva mestra.

A modificação do ligante asfáltico com os resíduos de sacola plástica, mostrou uma diferença sutil entre as amostras de 1 e 2%, seguindo a lógica de que quando a temperatura diminui, a rigidez do material aumenta juntamente com o módulo complexo (G^*). Além disso quando há uma queda na temperatura a frequência aumenta gerando uma redução da viscosidade e um aumento da elasticidade. A amostra com 3% de resíduo de sacola plástica,

não obedeceu a um padrão lógico, provavelmente pelo fato de ainda haverem pedaços de sacola plástica não totalmente fundidos na amostra, o que gerou alterações nos resultados. Contudo, ainda são necessários estudos mais aprofundados em relação a outras técnicas de modificação no ligante asfáltico para potencializar a produção e a eficiência do material.

7 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

Para dar continuidade ao trabalho foram pensados os seguintes questionamentos:

- Utilizar aditivos para diminuir a separação de fases da amostra;
- Definir um teor ótimo de sacola plástica;
- Estudar como o ligante se comporta quando submetido ao envelhecimento em longo prazo simulado pelo PAV;
- Verificar se o novo ligante possui uma boa adesividade com agregados minerais utilizados na pavimentação;
- Verificar se o novo ligante possui uma boa estabilidade à estocagem;
- Fazer um estudo econômico detalhado sobre o custo do ligante tradicional comparado ao ligante modificado com o resíduo da sacola plástica; e
- Realizar e monitorar trechos experimentais com o ligante modificado de modo a avaliar o comportamento do mesmo em campo.

REFERÊNCIA

- ABRAS - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE SUPERMERCADOS. Disponível em <http://www.rvambiental.com.br> Acesso em: 10 mar. 2020
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15184**: Materiais Betuminosos: Determinação da Viscosidade em Temperaturas Elevadas Usando um Viscosímetro Rotacional. Rio de Janeiro, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6560**: Materiais Betuminosos: Determinação do Ponto de Amolecimento - Método do Anel e Bola. Rio de Janeiro, 2000.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6576**: Materiais Betuminosos: Determinação da Penetração. Rio de Janeiro, 2007.
- ASTM D7175-15, **Standard Test Method for Determining the Rheological Properties of Asphalt Binder Using a Dynamic Shear Rheometer**, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2015, www.astm.org
- ALVES, André A. N.; RIBEIRO, Maurício F.; RICCI, Vitor Salvucci. O USO DE SACOLAS PLÁSTICAS PELOS CLIENTES DE SUPERMERCADOS E SEU IMPACTO SOBRE A NATUREZA. **Revista Ciências do Ambiente On-line**, São Paulo, v. 1, n. 7, p. 14-18, jul. 2011. Disponível em: <http://sistemas.ib.unicamp.br/be310/>. Acesso em: 10 mar. 2020.
- 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, 2006. 501p.
- BOOSHEHRIAN, Abbas; MOGAWER, Walaa S.; BONAQUIST, Ramon. How to Construct an Asphalt Binder Master Curve and Assess the Degree of Blending between RAP and Virgin Binders. *Journal Of Materials In Civil Engineering*, [s.l.], v. 25, n. 12, p.1813-1821, dez. 2013. American Society of Civil Engineers (ASCE). [http://dx.doi.org/10.1061/\(asce\)mt.1943-5533.0000726](http://dx.doi.org/10.1061/(asce)mt.1943-5533.0000726).
- BRINGEL, R. M.; SOARES, S. A.; SOARES, J. B. **Propriedades químicas e reológicas de asfalto modificado por copolímero EVA**. III Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, Salvador, 2005.
- CASTELO BRANCO, Verônica. **Aulas Práticas**: Ligantes Asfálticos. Fortaleza: Ufc, 2014.
- CNT – CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. Pesquisa CNT de rodovias 2019: relatório gerencial. Brasília: CNT, SEST, SENAT, 2019. 237p
- COUTINHO, Fernanda M. B.; MELLO, Ivana L.; MARIA, Luiz C. de Santa. Polietileno: principais tipos, propriedades e aplicações: principais tipos, propriedades e aplicações. **Polímeros**, [s.l.], v. 13, n. 1, p. 01-13, jan. 2003. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0104-14282003000100005>. Disponível em:

https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-14282003000100005&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 20 maio 2020.

CRAVO, Margareth Carvalho Coutinho. Efeitos do Envelhecimento Térmico e Fotoquímico em Ligantes Asfálticos, Mástique e Matriz de Agregados Finos. 2016. 251 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

DANTAS, T.N.C.; DANTAS, M.S.G.; DANTAS, N.A.A.; D'ORNELLAS, C.V.; QUEIROZ, L. R. Novel Antioxidants from Cashew Nut Shell Liquid Applied to Gasoline Stabilization. *Fuel*, V. 82, 2003.

D'ANTONA, Daniela M. G.; FROTA, Consuelo A. Da. Estudo de misturas asfálticas com ligante modificado pelo polímero EVA para pavimentos urbanos de Manaus - AM. *Polímeros*, São Carlos, v. 21, n. 1, p. 13-18, 2011 Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-14282011000100005&lng=en&nrm=iso>. acesso em 05 May 2020. Epub Feb 11, 2011.

DOMINGOS, Matheus David Inocente; PAMPLONA, Thaís Ferreira; FAXINA, Adalberto Leandro; GIGANTE, Antonio Carlos. Viscosidade rotacional de ligantes asfálticos modificados de mesmo grau de desempenho. *Transportes*, [s.l.], v. 20, n. 2, p. 15-22, 31 ago. 2012. Programa de Pos Graduacao em Arquitetura e Urbanismo. <http://dx.doi.org/10.4237/transportes.v20i2.560>. Disponível em: [file:///C:/Users/ronal/Downloads/560-2319-1-PB%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/ronal/Downloads/560-2319-1-PB%20(1).pdf). Acesso em: 18 abr. 2020.

DOMINGOS, Matheus David Inocente; FAXINA, Adalberto Leandro. Avaliação do comportamento fluência-recuperação de ligantes asfálticos modificados com SBS e ácido polifosfórico. *Transportes*, [s.l.], v. 21, n. 1, p. 51, 30 abr. 2013. Programa de Pos Graduacao em Arquitetura e Urbanismo. <http://dx.doi.org/10.4237/transportes.v21i1.677>.

Fabro, Adriano & Lindemann, Chris & Vieira, Saon. (2007). Utilização de sacolas plásticas em supermercados. *Revista Ciências do Ambiente On-Line*. 3. 15-23.
Freitas, F.J.S. – Asfalto Modificado com EVA. Anais de 30ª Reunião Anual de Pavimentação, v. 1, p – 61 – 74. Salvador, 1996.

FERNANDES, Paulo Roberto Nunes. **Avaliação do desempenho de ligante asfáltico modificado por poli (ácido fosfórico) (PPA) e efeitos da adição do líquido da casca da castanha de caju (LCC)**. 2010. 146 f. Tese (Doutorado) - Curso de Química, Departamento de Química Orgânica e Inorgânica, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011. Disponível em: http://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/11553/1/2011_tese_prnfernandes.pdf. Acesso em: 18 maio 2020.

Guarçoni, Dilma dos Santos; Petróleo – Refino e Fracionamento Químico do Asfalto; DNER – Diretoria de Desenvolvimento Tecnológico; Rio de Janeiro – RJ, 1996.

QUEIROZ, Guilherme de C. and GARCIA, Eloísa E. C.. Reciclagem de sacolas plásticas de polietileno em termos de inventário de ciclo de vida. *Polímeros* [online]. 2010, vol.20, n.5 [cited 2020-05-20], pp.401-405. Available from: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010414282010000500014&lng=en&nrm=iso>. Epub Jan 26, 2011. ISSN 0104-1428. <https://doi.org/10.1590/S0104-14282011005000003>.

GUSMÃO, M. Restauração rodoviária usando asfalto modificado por polímero. 2009. 147 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Geotécnica) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2009.

HOMEM, Tiago da Rosa. **Comportamento de misturas asfálticas porosas com ligantes modificados por polímeros e adição de fibras**. 2002. 129 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/1842>. Acesso em: 15 abr. 2020.

INSTITUTO RESSOAR. Disponível em <http://www.ressoar.org.br> Acesso em: 19 mar. 2020.

LEITE, L.F.M. **Estudos de preparo e caracterização de asfaltos modificados por polímeros**. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1999.

LUCAS JÚNIOR, J. L. O. Influência da adesividade agregado-ligante no trincamento por fadiga de misturas asfálticas. 2018. 134 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes)-Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.

MEDEIROS, Maria Thalita Siqueira de. **INVESTIGAÇÃO DOS EFEITOS RADIOLÍTICOS NO POLI (ETILENO-CO-ACETATO DE VINILA) (EVA)**. 2016. 85 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Tecnologias Energéticas e Nucleares, Departamento de Energia Nuclear, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/19066/1/Disserta%C3%A7%C3%A3o%20-%20Maria%20Thalita.pdf>. Acesso em: 22 maio 2020.

MOTHÉ, Michelle Gonçalves. **Estudo do Comportamento de Ligantes Asfálticos por Reologia e Análise Térmica**. 2009. 204 f. Dissertação (Doutorado) - Curso de Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos, Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/1842>. Acesso em: 15 abr. 2020.

NEGRÃO, Douglas Polcaro. Estudo de asfaltos modificados por polímeros do tipo RET para aplicações em pavimentos. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Escola Politécnica, University of São Paulo, São Paulo, 2006. doi:10.11606/D.3.2006.tde-09032007-170249. Acesso em: 04 abr. 2020.

NEGRÃO, D. P., Preussler, E. S *et al.* Asfalto Modificado com o Terpolímero Elastomérico Reativo (RET) – *Congresso Ibero – Latinoamericano del Asfalto*. San Jose, 2005.

RODRIGUES, Fabíola Odete. **EFEITO DO LÍQUIDO DA CASTANHA DO CAJU (LCC) NAS PROPRIEDADES REOLÓGICAS DO LIGANTE ASFÁLTICO MODIFICADO POR SBS**. 2010. 114 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Transportes, Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2010. Disponível em: http://www.repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/581/1/2010_dis_forodrigues.pdf. Acesso em: 18 maio 2020.

SANTOS, Amélia S. F. e; FREIRE, Fernando H. de O.; COSTA, Brenno L. N. da and MANRICH, Sati. **Sacolas plásticas: destinações sustentáveis e alternativas de substituição**. Polímeros [online]. 2012, vol.22, n.3 [cited 2020-05-21], pp.228-237. Available from: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-14282012000300005&lng=en&nrm=iso>. Epub June 14, 2012. ISSN 0104-1428. <https://doi.org/10.1590/S0104-14282012005000036>.

SHINOHARA, K. J.; MOMM, L. ; LEANDRO, G. C. ; BARRA, B. S. ; PÉREZ, Y. A. G. . Avaliação do efeito da adição do polímero EVA nas propriedades do ligante asfáltico 50/70.. In: 7º CBR&C - Congresso Brasileiro de Rodovias & Concessões, 2011, Foz do Iguaçu. 7º CBR&C - Congresso Brasileiro de Rodovias & Concessões. São Paulo: ABCR Associação Brasileiras de Concessionárias de Rodovias, 2011.

TELLES, Mariana Robiati; SARAN, Luciana Maria; UNêDA-TREVISOLLI, Sandra Helena. https://www.researchgate.net/profile/Luciana_Saran/publication/324593943_Producao_propriedades_e_aplicacoes_de_bioplastico_obtido_a_partir_da_cana-de-acucar/links/5ad74f790f7e9b28593974b1/Producao-propriedades-e-aplicacoes-de-bioplastico-obtido-a-partir-da-cana-de-acucar.pdf. **Ciência & Tecnologia: Fatec-jb**, Jabuticabal, v. 1, n. 2, p. 52-63, set. 2011. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Luciana_Saran/publication/324593943_Producao_propriedades_e_aplicacoes_de_bioplastico_obtido_a_partir_da_cana-de-acucar/links/5ad74f790f7e9b28593974b1/Producao-propriedades-e-aplicacoes-de-bioplastico-obtido-a-partir-da-cana-de-acucar.pdf. Acesso em: 20 maio 2020.

VERONESE, Vinícius Bassanesi. **Desenvolvimento e avaliação de propriedades de misturas de poliestireno (PS) e copolímeros em bloco estireno-butadieno-estireno (SBS)**. 2003. 94 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Minas, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/4609>. Acesso em: 06 abr. 2020.