

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

BIANCA ARAÚJO DE PAIVA

**ANÁLISE DO LIGANTE ASFÁLTICO MODIFICADO COM
POLIESTIRENO DE COPOS DESCARTÁVEIS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CAMPO MOURÃO

2017

BIANCA ARAÚJO DE PAIVA

**ANÁLISE DO LIGANTE ASFÁLTICO MODIFICADO COM
POLIESTIRENO DE COPOS DESCARTÁVEIS**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do curso superior em Engenharia Civil, do Departamento Acadêmico de Construção Civil – DACOC - da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Paulo Henrique Rodrigues

Coorientador: Prof. Me. Lucas Lauer Verdade

CAMPO MOURÃO

2017



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Campo Mourão
Diretoria de Graduação e Educação Profissional
Departamento Acadêmico de Construção Civil
Coordenação de Engenharia Civil



TERMO DE APROVAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso

ANÁLISE DO LIGANTE ASFÁLTICO MODIFICADO COM POLIESTIRENO DE COPOS DESCARTÁVEIS

por

Bianca Araújo de Paiva

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 18h30min do dia 29 de junho de 2017 como requisito parcial para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL, pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Me. Lucas Lauer Verdade

(UTFPR)
Co-orientador

**Prof. Esp. Sérgio Roberto Oberhauser
Quintanilha Braga**

(UTFPR)

Profª. Drª. Vanessa Corneli

(UTFPR)

Prof. Paulo Henrique Rodrigues

(UTFPR)
Orientador

Responsável pelo TCC: **Prof. Me. Valdomiro Lubachevski Kurta**

Coordenador do Curso de Engenharia Civil

Prof. Dr. Ronaldo Rigobello

A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela benção que é minha vida e pela oportunidade de realizar um sonho e ser feliz com ele, por iluminar o meu caminho em busca de meus objetivos e por toda sabedoria adquirida com as dificuldades encontradas neste percurso.

Aos meus pais, Lurdes e Neilo, e a minha irmã Vitória, pelo maior apoio e amor que uma família poderia dar. Obrigada por tornarem tudo isso possível. Essa é uma conquista de todos nós! Amo vocês para sempre.

Aos meus orientadores, Prof. Paulo Henrique Rodrigues e Prof. Msc. Lucas Lauer Verdade pela orientação e paciência na realização deste trabalho. Obrigado por dividirem seu conhecimento comigo e por toda dedicação que tiveram com este trabalho.

À Thais, Airton, Vania, Bruno, Patrícia, Jéssica, Sabrina, Douglas, Marcelo, Ricardo, Elvis e o Consórcio CCM CCL Pavidez, este trabalho não teria sido concluído sem o auxílio e apoio de todos vocês.

Aos professores do DACOC e servidores da Universidade por todos os ensinamentos, atenção e respeito a mim dedicados.

Aos meus amigos Lucas, Loriesse, Priscila, Patrícia e Anna Beatriz, que mesmo longe sempre estiveram presentes, torcendo e me apoiando.

Aos colegas de curso e amigos, Júlia, Lenita, Willy, Guilherme, Renan e Danillo, que durante a graduação foram inspirações e motivadores para que o diploma finalmente fosse conquistado. Em especial agradeço Tiemy e Karina pela amizade e carinho sempre divididos.

Agradeço ao João Matheus por todo amor, companhia e suporte. Você foi minha força na realização deste trabalho.

Agradeço a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

“Ao longo da maior parte da História,
Anônimo foi uma mulher”.
(Virginia Woolf)

RESUMO

PAIVA, Bianca A. **ANÁLISE DO LIGANTE ASFÁLTICO MODIFICADO COM POLIESTIRENO DE COPOS DESCARTÁVEIS**. 2017. 49 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil). Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Campo Mourão. Campo Mourão, 2017.

O presente trabalho tem como objetivo testar a hipótese que a adição de proporções adequadas do poliestireno de copos descartáveis possa melhorar as características físicas do CAP, comparando diferentes porcentagens de adição de poliestireno (1%, 3% e 5%) com o CAP sem modificação, para a realização dos ensaios de penetração, ponto amolecimento e ponto de fulgor. O ligante asfáltico modificado com polímero é usado para melhorar o desempenho do pavimento quanto aos principais defeitos, trinca por fadiga e deformação permanente e como o poliestireno não é comumente utilizado como modificador, este trabalho busca testá-lo como alternativa, visto que na cidade de Campo Mourão – PR não há interesse pela reciclagem dos copos descartáveis. Os copos descartáveis foram moídos e então incorporados ao CAP. Para a modificação com 5% de poliestireno, observou-se que o ligante acaba resistindo a maiores temperaturas sem perder suas principais características, porém leva à perda de consistência do pavimento. Assim, foi concluído que o poliestireno como modificador do ligante asfáltico não deve ser utilizado para estradas com alto tráfego de veículos.

Palavras – chave: Ligante Asfáltico Modificado, Poliestireno, Copos Descartáveis, Ensaio.

ABSTRACT

PAIVA, Bianca A. **ANALYSIS OF ASHTALTIC BINDER MODIFIED WITH POLYSTYRENE FROM DISPOSABLE CUPS**. 2017. 49 f. Final Paper (Bachelor of Civil Engineering). Federal Technological University of Paraná –Campo Mourão Campus.Campo Mourão, 2017.

The present study aims to test the hypothesis that the addition of adequate proportions of polystyrene from disposable cups can improve the physical characteristics of the CAP (petroleum asphalt cement), comparing different polystyrene addition percentages (1%, 3% and 5%) with non-modified CAP, for penetration, softening point and flash point tests. The polymer-modified asphalt binder is used to improve pavement performance for major defects, fatigue cracking and permanent deformation and since polystyrene is not commonly used as a modifier, this work seeks to test it as an alternative, since in the city of Campo Mourão - PR there are no interest in recycling of disposable cups. The disposable cups were ground and then incorporated into the CAP. For the modification with 5% of polystyrene, it was observed that the binder resists higher temperatures without losing its main characteristics, but it leads to pavement consistency loss. Thus, it was concluded that polystyrene as an asphalt binder modifier should not be used for high vehicular traffic roads.

Key words: Modified Asphalt Binder, Polystyrene, Disposable Cups, Tests.

Lista de Figuras

FIGURA 1 - LOCALIZAÇÃO E DENOMINAÇÃO DAS REFINARIAS DE PETRÓLEO BRASILEIRAS QUE PRODUZEM ASFALTO.....	15
FIGURA 2 - ESQUEMA DE REFINO DO PETRÓLEO PARA OBTENÇÃO DO ASFALTO EM UM ESTÁGIO.....	16
FIGURA 3 - ESQUEMA DE REFINO DO PETRÓLEO PARA OBTENÇÃO DO ASFALTO EM DOIS ESTÁGIOS	17
FIGURA 4 – EXEMPLOS DE DEFORMAÇÃO PERMANENTE.....	21
FIGURA 5 - IDENTIFICAÇÃO DO TRINCAMENTO POR FADIGA	23
FIGURA 6 – VARIAÇÃO DA PENETRAÇÃO COM PORCENTAGENS DIFERENTES DE MODIFICADORES A 170 °C E 180 °C.	26
FIGURA 7 - ENSAIOS DE PENETRAÇÃO ENVOLVENDO AS BLENDS DE OS E CAP 20.....	27
FIGURA 8 - VARIAÇÃO DO PONTO DE AMOLECIMENTO COM PORCENTAGENS DIFERENTES DE MODIFICADORES A 170 °C E 180 °C	28
FIGURA 9 - PESO DO CAP.....	30
FIGURA 10 - PESO DE 1% DE ADIÇÃO DE POLIESTIRENO.....	31
FIGURA 11 - PESO DE 3% DE ADIÇÃO DE POLIESTIRENO.....	31
FIGURA 12 - PESO DE 5% DE ADIÇÃO DE POLIESTIRENO.....	32
FIGURA 13 - COPO DESCARTÁVEL SEM FUNDO E SEM BORDA SUPERIOR.....	33
FIGURA 14 - COPOS DESCARTÁVEIS MOÍDOS	33
FIGURA 15 - CAP SENDO AQUECIDO	34
FIGURA 16 - COPOS DESCARTÁVEIS MOÍDOS ADICIONADOS AO CAP	34
FIGURA 17 - AMOSTRA IMERSA A 25 °C.....	35
FIGURA 18 – AGULHA SENDO PENETRADA NA AMOSTRA	36
FIGURA 19 - PREPARAÇÃO PARA O ENSAIO DE PONTO DE AMOLECIMENTO.....	37
FIGURA 20 - ENSAIO DE PONTO DE AMOLECIMENTO FINALIZADO	37
FIGURA 21 - PREPARAÇÃO PARA O ENSAIO DE PONTO DE FULGOR	38
FIGURA 22 - AMOSTRA SENDO AQUECIDA	39

Lista de Tabelas

TABELA 1 - EXEMPLOS DE COMPOSIÇÕES QUÍMICAS DE ASFALTOS POR TIPO DE CRU	14
TABELA 2 - ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA PARA ASFALTO MODIFICADO COM POLÍMERO	19
TABELA 3 - BENEFÍCIOS DE DIFERENTES TIPOS DE MODIFICADORES DE ASFALTO.....	24
TABELA 4 - RESULTADOS OBTIDOS PARA OS ENSAIOS DE PONTO DE AMOLECIMENTO REALIZADOS PARA O CAP 20, BLENDA DE CAP 20 COM 0,6 % DE PPN, CAP 20 COM 6 % DE PS E CAP 20 COM 6% DE LIG.	29
TABELA 5 - RESULTADOS OBTIDOS NO ENSAIO DE PENETRAÇÃO (EM DMM)	40
TABELA 6 - RESULTADOS OBTIDOS NO ENSAIO DE PONTO DE AMOLECIMENTO	41
TABELA 7 - RESULTADOS OBTIDOS NO ENSAIO DE PONTO DE FULGOR	43

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 OBJETIVOS.....	11
2.1 OBJETIVO GERAL.....	11
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
3 JUSTIFICATIVA.....	12
4 REFERENCIAL TEÓRICO.....	13
4.1 – ASFALTO.....	13
4.1.1 – Ligante Asfáltico.....	15
4.1.2 – Principais defeitos do pavimento.....	20
4.2 – POLIESTIRENO.....	24
5 MATERIAIS E MÉTODOS	30
5.1 DOSAGEM.....	30
5.2 POLIESTIRENO.....	32
5.3 MISTURA.....	33
5.4 ENSAIO DE PENETRAÇÃO	35
5.5 ENSAIO DE PONTO DE AMOLECIMENTO	36
5.6 ENSAIO DE PONTO DE FULGOR	38
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	40
6.1 ENSAIO DE PENETRAÇÃO	40
6.2 ENSAIO DE PONTO DE AMOLECIMENTO	41
6.3 ENSAIO DE PONTO DE FULGOR	42
7 CONCLUSÃO	44
8 REFERÊNCIAS.....	47

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é um país no qual se predomina o sistema de transporte rodoviário para o transporte de cargas, conforme pesquisa da Confederação Nacional do Transporte, o CNT (2016) 61,1% das cargas transportadas no Brasil são por modal rodoviário. Apesar disso, de acordo com o mesmo, apenas 12,3% das estradas são pavimentadas.

Diversos são os motivos para esta falta de qualidade nos asfaltos brasileiros, mas um dos maiores problemas enfrentados são os defeitos do pavimento, que diminuem sua serventia e desempenho. Os dois principais defeitos são a deformação permanente, que está relacionada ao recalque no subleito e às propriedades dos agregados, aparecendo normalmente nos primeiros anos de vida do pavimento. O segundo defeito é a trinca por fadiga, associado à repetição de cargas, acontece no revestimento quando o ligante asfáltico envelhece, sofrendo oxidação e perdendo suas propriedades.

A busca por pavimentos eficazes e de menor custo se torna constante. O ligante asfáltico modificado se tornou uma alternativa, pelo maior rendimento e qualidade empregada ao pavimento, utilizando materiais de fácil acesso, como polietileno (PE), copolímero de estireno-butadieno-estireno (SBS), copolímero etileno acetato de vinila (EVA), borracha de estireno-butadieno (SBR) e outros materiais com certa preocupação sustentável, como a borracha moída de pneus.

No caso deste estudo, o polímero testado será o poliestireno (PS) de copos descartáveis. Santos et al. (2015) em sua pesquisa observaram que não há interesse em reciclar os resíduos de copos descartáveis da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Campo Mourão por parte das cooperativas, por serem muitos leves (apesar da grande quantidade) e com um preço de custo baixo.

Para medir as propriedades físicas alcançadas pelo asfalto utilizando o ligante modificado com o poliestireno serão realizados ensaios utilizando três porcentagens de aplicação (1%, 3% e 5%) e uma amostra de comparação com o CAP (Cimento Asfáltico de Petróleo) sem modificação, com base nas normas referentes aos ensaios de: penetração, ponto de amolecimento e ponto de fulgor.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Testar a hipótese que a adição de proporções adequadas do poliestireno de copos descartáveis possa melhorar as características físicas do CAP.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos são:

- Definir teores de poliestirenos indicados para a formulação de asfaltos modificados;
- Avaliar os efeitos das proporções de poliestirenos sobre consistência, amolecimento e temperatura que inflama de ligantes asfálticos modificados com esse polímero.

3 JUSTIFICATIVA

A busca por alternativas que aumentem o desempenho do pavimento e melhorem suas características físicas e reológicas tem sido constante. No Brasil isso se torna ainda mais importante devido ao seu sistema de transporte ser predominantemente rodoviário, onde o CAP representa 25 a 40% do custo da construção do revestimento sendo geralmente o único componente industrializado que é usado nas camadas do pavimento, conforme Bernucci et al. (2008).

O ligante asfáltico modificado se tornou uma das mais importantes escolhas por auxiliar o asfalto a evitar os defeitos aumentando sua resistência às trincas por fadiga e à deformação, diminuindo a manutenção e os custos do pavimento e aumentando sua resistência ao envelhecimento e a oxidação.

Segundo pesquisa de Santos et al. (2015), os resíduos de plástico gerados diariamente em média na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Campo Mourão é de 10,1 kg, sendo os copos plásticos de 300 ml a maior parte desse valor (em média 2.000 copos/dia). Por serem leves e com preço de custo baixo, não há o interesse por parte da indústria em realizar a reciclagem o que impossibilita uma nova utilidade do material.

Os copos descartáveis são feitos de poliestireno (PS), um polímero que não é regularmente usado para a modificação do asfalto, se tornando uma nova perspectiva, em que será avaliado seu desempenho e propriedades, possibilitando maior conhecimento sobre o próprio ligante e sua produção buscando os maiores benefícios.

Neste contexto o presente trabalho visa reaproveitar um material que não possui reciclagem para ser usado de forma a sanar uma necessidade coletiva da Universidade.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 – ASFALTO

O asfalto utilizado na pavimentação é um material originado da destilação do petróleo, sendo considerado um ligante betuminoso. Segundo Senço (1979) o asfalto possui características favoráveis à sua utilização na pavimentação, como impermeabilidade, adesividade entre o betume e os agregados permitindo a ligação entre as pedras, durabilidade das misturas e manutenção das propriedades do betume por muito tempo, possibilidade de trabalho em diferentes temperaturas e preço competitivo em relação a materiais destinados a mesma função.

De acordo com Ceratti e Reis (2011), no Brasil é designado como CAP este produto que em altas temperaturas (acima de 100 °C) se apresenta como um material viscoso, em temperaturas médias praticamente sólido (semi-sólido) e em temperaturas baixas (menores que 0 °C) se torna um material totalmente sólido (trinca quando sofre expansão ou contração); e que também está adequado quanto aos limites de consistência para temperaturas estabelecidas nas especificações.

Para Bernucci et al. (2008) os petróleos distinguem-se pela maior ou menor presença de asfalto em sua composição. Os dois tipos de petróleo que apresentam o melhor tipo de asfalto para ser utilizado na pavimentação de ruas e estradas são os chamados Boscan e o Bachaquero, que são encontrados na Venezuela. Atualmente no Brasil existem petróleos com qualidade semelhante ao Bachaquero que são utilizados para a produção de asfalto, mas ainda é raro aqui e em outros países plantas de produção de asfalto a partir de um único petróleo, sendo mais comum unidades de refino que produzem asfalto a partir da mistura de diversos petróleos.

Quase todo o asfalto em uso hoje em dia é obtido do processamento de petróleo bruto (ou cru) em plantas especiais denominadas refinarias. Muitas refinarias são localizadas próximas a locais com transporte por água, ou são supridas por dutos a partir de terminais marítimos.

A escolha do petróleo que pode resultar em um asfalto dentro da especificação para uso em pavimentação é feita através de avaliação de resíduos de vácuo de petróleos, eles são caracterizados quimicamente e quanto aos requisitos das especificações brasileiras, européias e americanas Superpave do CAP. A comparação dos resultados com as especificações e os critérios internos da Petrobras indica se o petróleo é adequado ou não para produção de cimentos asfálticos de petróleo e ainda a seleção das temperaturas de corte apropriadas à obtenção dos diversos tipos de CAP. (BERNUCCI et al., 2008, p. 33)

Segundo Bernucci et al. (2008), a composição química do CAP é em geral constituída de 90 a 95% de hidrocarbonetos e de 5 a 10% de heteroátomos (oxigênio, enxofre, nitrogênio e metais – vanádio, níquel, ferro, magnésio e cálcio) unidos por ligações covalentes. Ela está relacionada ao desempenho físico e mecânico das misturas asfálticas, mas sua maior influência é nos processos de incorporação de agentes modificadores, como os polímeros. É importante ressaltar que a composição varia de acordo com a fonte do petróleo, com as modificações induzidas nos processos de refino e durante o envelhecimento na usinagem e em serviço, além do tipo de fracionamento a que se submete o ligante asfáltico. Atualmente o método mais moderno é aquele que separa as seguintes frações: saturados, nafteno-aromáticos, polar-aromáticos e asfaltenos, normalizado pela ASTM D 4124-01.

A tabela 1 apresenta alguns exemplos de composições químicas de asfaltos em algumas refinarias.

Tabela 1 - Exemplos de composições químicas de asfaltos por tipo de cru

Origem	Mexicano	Boscan Venezuela	Califórnia Estados Unidos	Cabiúnas Brasil	Cabiúnas Brasil	Árabe Leve Oriente Médio
Refinaria	–	RLAM Bahia	–	Regap Minas Gerais	Replan São Paulo	Reduc Rio de Janeiro
Carbono %	83,8	82,9	86,8	86,5	85,4	83,9
Hidrogênio %	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	0,9	2,1	4,4
Oxigênio %	0,8	0,3	0,2	0,2	0,7	1,4
Vanádio ppm	180	1.380	4	38	210	78
Níquel ppm	22	109	6	32	66	24

Fonte: Leite (2003 apud BERNUCCI et al., 2008, p.14)

A produção brasileira de asfalto é feita toda pela Petrobras que possui 9 centros de produção e distribuição. A Figura 1 mostra a localização destas refinarias.



Figura 1 - Localização e denominação das refinarias de petróleo brasileiras que produzem asfalto

Fonte: Bernucci et al., 2008, p. 40

4.1.1 – Ligante Asfáltico

O ligante asfáltico possui a função de assegurar uma total união entre agregados, capaz de resistir às forças mecânicas de desagregação produzidas pelo tráfego, de garantir que a água superficial não penetre no pavimento, além de maior flexibilidade, trabalhabilidade e economia. Segundo Bernucci et al. (2008), os tipos de ligantes asfálticos são: cimentos asfálticos de petróleo (CAP), asfaltos diluídos de

petróleo (ADP), emulsões asfálticas (EAP), asfaltos oxidados ou soprados, asfaltos modificados e agentes rejuvenescedores.

De acordo com Bernucci et al. (2008), para que o pavimento seja executado é necessário que o asfalto possua algumas propriedades, todas elas estão relacionadas à sua temperatura:

- adesivo termoplástico, ir do estado líquido ao sólido de maneira reversível, visto que a colocação no pavimento se dá a altas temperaturas é através do resfriamento que o CAP adquire as propriedades de serviço;
- quimicamente pouco reativo para garantir uma boa durabilidade ao pavimento, em contato com o ar acarreta oxidação lenta, que pode ser acelerada por temperaturas altas. Para limitar risco de envelhecimento precoce deve-se evitar temperatura excessiva de usinagem e espalhamento e alto teor de vazios;
- impermeável à água;
- comportamento visco-elástico, relacionado à consistência e à suscetibilidade térmica.

As Figuras 2 e 3 divulgadas pela Petrobras mostram os diferentes tipos de refino, que é o conjunto de processo de transformação e/ou separação dos constituintes do petróleo que produzem os ligantes asfálticos.

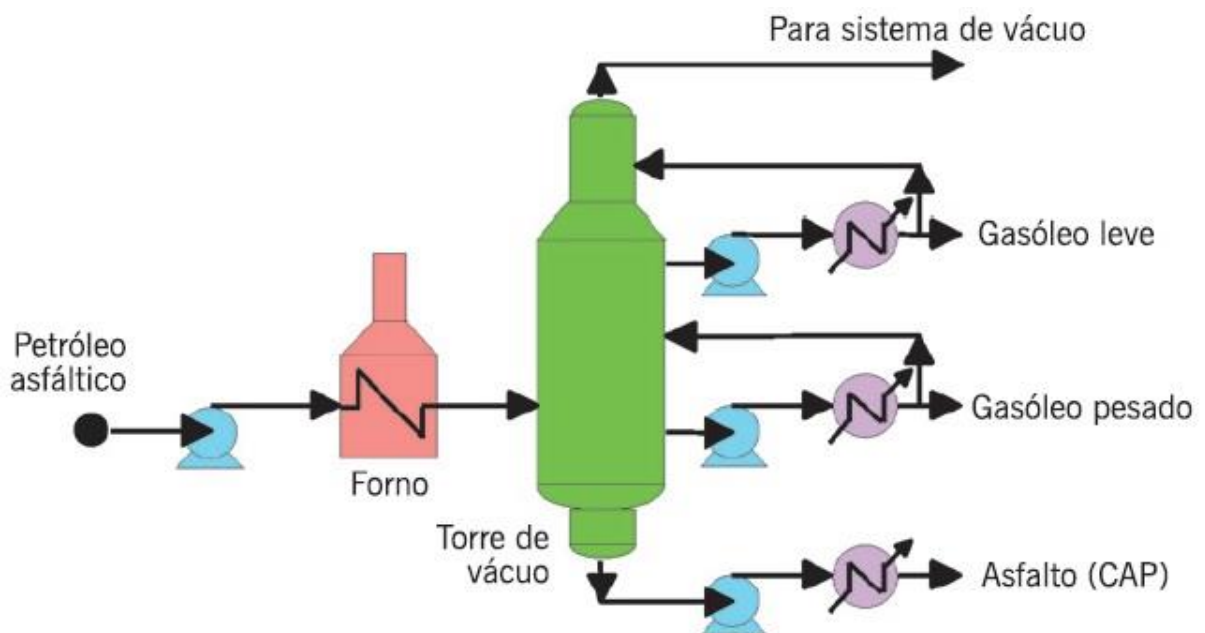


Figura 2 - Esquema de refino do petróleo para obtenção do asfalto em um estágio

Fonte: Tonial e Bastos (1995 apud BERNUCCI et al., 2008, p.35)

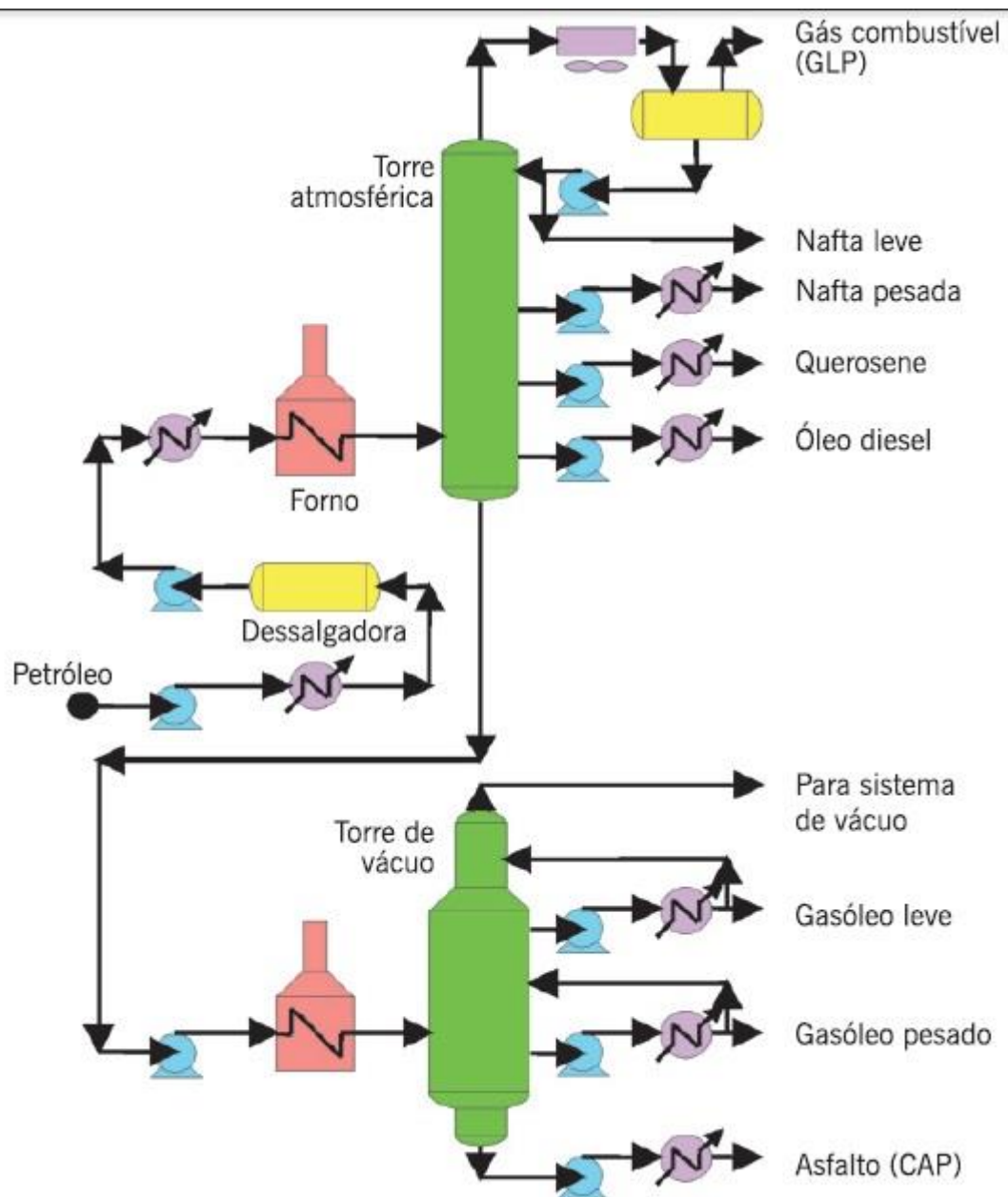


Figura 3 - Esquema de refino do petróleo para obtenção do asfalto em dois estágios

Fonte: Tonial e Bastos (1995 apud BERNUCCI et al., 2008, p.35)

O mais antigo é o de destilação direta, que pode ser realizada em um ou dois estágios. Quando o petróleo é de base asfáltica, designado por petróleo pesado (isto é tem muito asfalto, proporcionalmente a outras frações ou petróleos), como por exemplo os venezuelanos Boscan, Bachaquero, Lagunillas e Tia Juana, e o brasileiro Fazenda Alegre, é necessário apenas um estágio de destilação a vácuo e este processo produz um CAP de consistência adequada para a pavimentação. Se o petróleo não é de base asfáltica, como por exemplo os leves: Árabe Leve, Safaniya, Kirkuk e Kuwait, são necessários dois estágios de destilação: atmosférica e a vácuo. Petróleos ditos intermediários são processados em dois estágios, resultando no chamado resíduo de vácuo, cujas condições de pressão e temperatura definem o atendimento às especificações para uso em pavimentação. Pode ser ainda empregada a desasfaltação por solvente

quando o petróleo processado é leve ou intermediário, que consiste em um processo de extração com alcanos de baixa massa molar (ex. propano/butano) dos resíduos de vácuo.

Quando acondicionados de maneira apropriada, o que acontece de uma forma geral nos tanques das refinarias, os asfaltos podem ser mantidos a elevadas temperaturas por um tempo considerável sem que sejam afetados adversamente. Porém, um aquecimento a temperaturas elevadas (maiores do que 150°C), mesmo por tempos relativamente curtos (menores que um minuto, como ocorre na usinagem) pode causar um envelhecimento elevado do ligante desde que haja presença de ar e uma espessura muito fina de asfalto. Portanto, quanto maior a temperatura, o tempo de aquecimento e menor a espessura de película asfáltica, maior será o envelhecimento do ligante. A espessura do ligante ao envolver os agregados pode ser muito fina se a relação entre o volume de ligante e a superfície específica dos agregados não for bem proporcionada.

De forma a evitar um possível endurecimento e envelhecimento do ligante durante a estocagem, os tanques devem ser munidos de sensores de temperatura, posicionados na região dos aquecedores e serem removíveis para manutenção frequente. A oxidação e a perda de frações voláteis podem ocorrer pela superfície exposta sendo proporcional a essa área e à temperatura do tanque, e, portanto, os tanques verticalmente mais altos são preferíveis aos mais baixos, ou seja, a relação altura/raio do tanque circular deve ser tecnicamente a maior possível, considerando a relação área/volume de estocagem. A recirculação de material, quando o tempo de estocagem é elevado, deve também ser feita considerando esses fatores, ou seja, a entrada no tanque não pode ser fonte de ar para o sistema, e deve ser utilizada somente de forma intermitente. (BERNUCCI et al., 2008, p. 33)

Para Bernucci et al. (2008), o CAP deve ser sempre estocado e manuseado à temperatura mais baixa possível em relação à fluidez suficiente ao uso, considerando a viscosidade adequada para a operacionalidade das ações necessárias aos processos de mistura em linha ou transferência para os sistemas de transportes. O ligante asfáltico apresenta pequeno grau de risco para a saúde, devendo-se cumprir práticas adequadas de uso. Como é utilizado sempre em temperaturas altas durante o transporte, estocagem e processamento, é necessário o emprego de equipamentos especiais de proteção individual para manuseio. Ele tem baixa possibilidade de se incendiar e só em temperaturas muito altas, em torno de 400°C, apresentaria autocombustão. Porém, apesar de baixo risco, cuidados especiais devem ser tomados nos tanques de estocagem e no processamento. Também é importante evitar que o CAP aquecido tenha contato com água, pois haverá grande aumento de volume resultando em espumação e dependendo da quantidade de água, poderá haver fervura do ligante.

O asfalto modificado é obtido a partir da dispersão do CAP com polímero, em quantidades apropriadas, podendo ou não haver reações químicas. Segundo Bernucci et al. (2008) os asfaltos aptos a serem modificados com polímeros são

aqueles que apresentam certa aromaticidade. A quantidade de polímero usada para adicionar ao ligante deve estar de acordo com as propriedades que se deseja alcançar.

De acordo com Specht (2004) atualmente os polímeros mais empregados como modificadores são: SBS (copolímero de estireno butadieno), SBR (borracha de butadieno estireno) e EVA (copolímero de etileno acetato de vinila).

As especificações brasileiras para o ligante asfáltico modificado com SBS foram propostas pelo DNER (atual DNIT), e estão apresentadas na tabela 2:

Tabela 2 - Especificação técnica para asfalto modificado com polímero

Característica	Exigência	
	Mínima	Máxima
Penetração, 100g, 5s, 0,1mm	45	-
Ponto de fulgor, °C	235	-
Dutilidade, 25°C, 5cm/min, cm	100	-
Densidade relativa 25°C/4°C	1,00	1,05
Ponto de amolecimento, °C	60	85
Ponto de ruptura Fraass, °C	-	-13
Recuperação elástica, 20cm, 25°C, %	85	-
Viscosidade cinemática, 135°C, cSt	850	
Estabilidade ao armazenamento, 500ml em estufa a 163°C por 5 dias:		
• diferença de ponto de amolecimento, °C	-	4
• diferença de recuperação elástica, 20cm, 25°C, %	-	3
Efeito do calor e do ar (ECA)		
• variação em massa, %	-	1,0
• porcentagem da penetração original	50	-
• variação do ponto de amolecimento, °C	-	4
• recuperação elástica, %	80	-

Fonte: DNER - EM 396/99 (1999 apud BERNUCCI et al., 2008, p.69)

Os benefícios proporcionados pela modificação do asfalto estão relacionados às características de tráfego, clima, local, se é uma obra nova ou de manutenção, facilidade de ocorrência de trincas por fadiga e deformação permanente. Para Hirsch (2007), um ligante asfáltico ideal é aquele que melhora a aplicação e mistura do asfalto em serviço, que resiste às diferentes temperaturas mantendo a mesma

qualidade de adesão dos ligantes convencionais, que seja possível seu processo em equipamentos convencionais e que permaneça estável, física e quimicamente em todas as duas fases.

O asfalto é feito basicamente por hidrocarbonetos, estes quando em contato com o oxigênio sofrem uma reação química chamada de oxidação que acontece na superfície de contato. Ela ocorre em praticamente todas as temperaturas e é extremamente sensível às altas.

De acordo com Morilha (2004), esta oxidação leva ao endurecimento do ligante sendo a principal causa de seu envelhecimento o que pode acelerar problemas, como a trinca por fadiga. Em seus estudos Morilha (2004), observou e comparou o desempenho de ligantes asfálticos convencionais e os modificados quanto ao seu envelhecimento. Nos ensaios de penetração e viscosidade os resultados se mostraram iguais, diminuição da penetração e aumento da viscosidade, enquanto no ponto de amolecimento houve uma diminuição depois do envelhecimento no ligante modificado por 3% de EVA.

4.1.2 – Principais defeitos do pavimento

O pavimento é constituído por uma série de camadas com a função de absorver seus esforços, proporcionando economia, segurança e conforto ao usuário. Isto pode ser comprometido à medida que defeitos nele apareçam, diminuindo sua serventia e desempenho. De acordo com Bernucci et al. (2008), os principais defeitos do pavimento são a deformação permanente, que esta relacionada ao recalque no subleito, às propriedades dos agregados aparecendo normalmente nos primeiros anos de vida do pavimento, e a trinca por fadiga, associado à repetição de cargas, acontece no revestimento quando o ligante asfáltico envelhece, sofrendo oxidação e perdendo suas propriedades.

- Deformação permanente: é quando o pavimento flexível submetido a uma carga possui deformação plástica. De acordo com Ildefonso (2007), ela esta intimamente ligada à vida útil do pavimento, sendo responsável pelos problemas de aquaplanagem (quando a camada superficial do pavimento é impermeável) e de falta de segurança, principalmente a pequenos veículos que possuem uma grande dificuldade em trafegar.

Conforme diversos autores, a deformação permanente pode ocorrer por movimentação plástica, consolidação ou deformação mecânica. Quando causada pela movimentação plástica, segundo Hirsch (2007), excessivas deformações acontecem se as misturas asfálticas produzidas possuem reduzidos índices de volume de vazios (o recomendado é de 3% a 5%) e/ou a temperatura ambiente é muito alta, o que faz com que o ligante atue como um lubrificante. A deformação permanente ocorrida pela consolidação acontece quando o volume de vazios é maior que 8%, que leva à compactação da camada asfáltica pelo tráfego e é caracterizada pelas depressões nas trilhas de roda. Quanto a pela deformação mecânica, normalmente acontece em pavimentos com estrutura mal dimensionada para o tráfego que realmente irá suportar, o que ocasiona o afundamento de outras camadas do pavimento além da capa asfáltica e aparece juntamente com trincas de tração na parte inferior da capa asfáltica.

A figura 4 mostra um exemplo de deformação permanente causada pela compactação pós-construção e um exemplo de deformação causada pelo rompimento das camadas do pavimento.

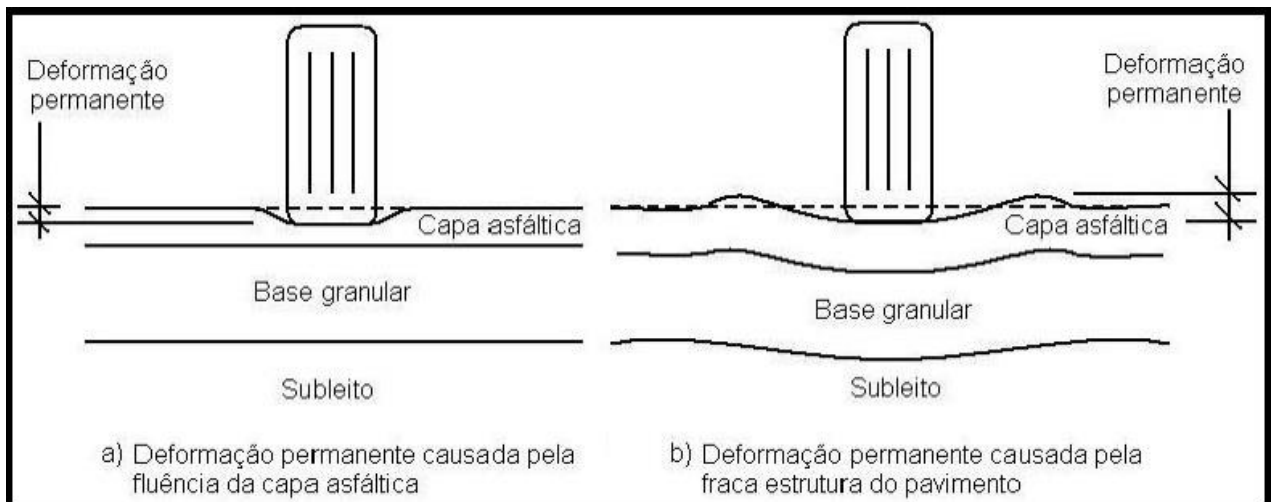


Figura 4 – Exemplos de deformação permanente

Fonte: Ildefonso (2007)

De acordo com Ildefonso (2007), os fatores que influenciam na ocorrência ou não da deformação permanente em concretos asfálticos são:

- a rigidez do ligante, que aumenta a resistência;

- quanto ao agregado sua textura (varia de lisa para rugosa), granulometria (varia de aberta para contínua), angularidade (varia de redondo para anguloso) e aumento do tamanho máximo, aumentam a resistência;
- quanto à mistura asfáltica, em relação ao aumento na quantidade de ligante, volume de vazios, vazios dos agregados minerais, reduzem a resistência;
- quanto às condições de campo e de ensaio, no que se refere ao aumento de temperatura, estado de tensão/deformação (aumento da pressão de contato dos pneus), maiores repetições de carregamento e variação do seco para molhado, reduzem a resistência.

Para determinar e caracterizar a deformação permanente do pavimento, vários ensaios são realizados, classificados como: ensaios fundamentais (uniaxial - não confinado e triaxial - confinado; cisalhamento; diametrais - "creep"), ensaios empíricos (Marshall, Hveem, indicador de pressão lateral) e ensaios simulativos (model mobile load simulator; asphalt pavement analyzer; entre outros).

- Trinca por fadiga: é o início do processo de degradação estrutural do pavimento que modifica seu estado de tensões e deformações, diminuindo seu desempenho. Ela ocorre em consequência às solicitações do sistema pelo carregamento cíclico do tráfego de veículos. Segundo Nuñez (2013), as trincas por fadiga são o tipo mais comum de problema encontrado nos pavimentos brasileiros e o que mais demanda recursos e manutenção. Os principais fatores que influenciam no aparecimento destas trincas são: magnitude das cargas, pressão de enchimento, o tipo de rodagem, o tipo de pneu, o tipo de eixo, o número de aplicações de carga, estrutura do pavimento e as propriedades da mistura asfáltica. Além disso, o problema se torna mais grave quando o pavimento não possui uma correta drenagem, pois as camadas são saturadas por água perdendo sua resistência. Ainda de acordo com Hirsch (2007), as trincas ocorrem por causa de sua componente de deformação plástica, ou seja, se a mistura fosse totalmente elástica, elas não ocorreriam.

O manual de identificação de defeitos LTPP - Long Term Pavement Performance (2003 apud Nuñez 2013) classifica o trincamento por fadiga em três níveis de severidade:

- baixo: trincamento com nenhuma ou poucas trincas conectadas, não necessitam de selagem e não há sinal de bombeamento.

- moderado: as trincas permanecem seladas, porém estão conectadas formando um padrão completo. Ainda não há evidencia de bombeamento.
- alto: há uma área de trincas formando um padrão completo, podendo haver o movimento dos blocos quando sujeitos às ações do trafego. O bombeamento é evidente.

A Figura 5 mostra os diferentes níveis de severidade para trincamento por fadiga.

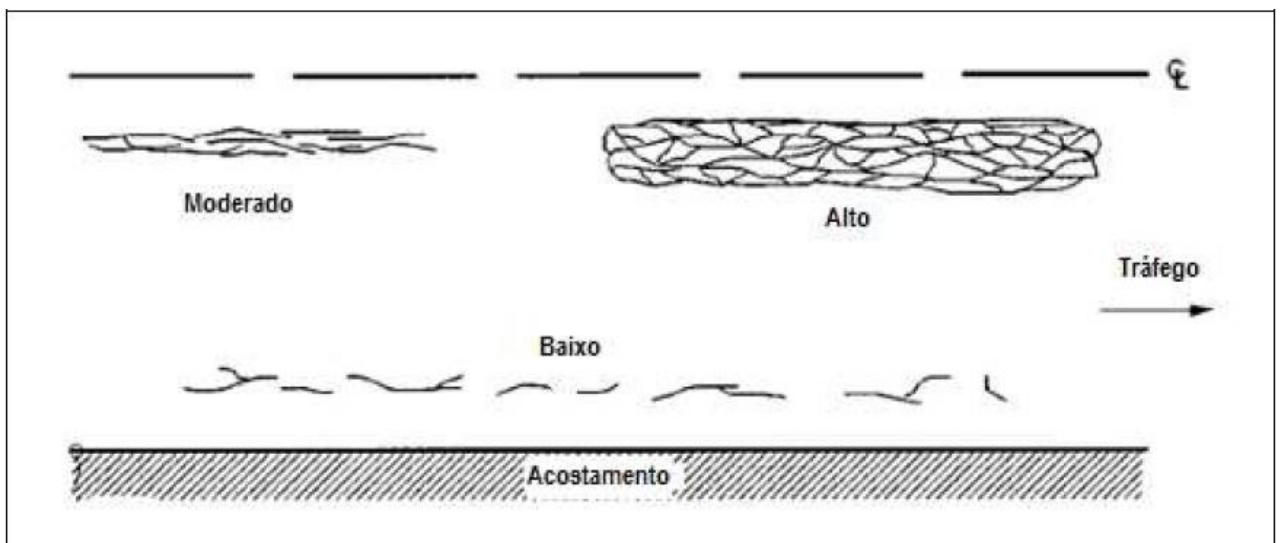


Figura 5 - Identificação do trincamento por fadiga

Fonte: Nuñez (2013)

Segundo Hirsh (2007), é importante considerar o efeito do trincamento por fadiga ao pavimento por três fatores: o primeiro é quanto ao enfraquecimento que se dá à camada asfáltica e por sua exposição à umidade e outros contaminantes, devido ao seu enfraquecimento estrutural. O segundo é pela diminuição do coeficiente de atrito entre pneu e pavimento, ocasionando menor estabilidade, segurança e nível de serviço. E por fim o terceiro fator que está relacionado à migração de materiais a superfície, levando ao aumento de ruídos por seus atritos, o que gera diminuição de níveis de serviço e manutenções inevitáveis e caras.

De acordo com Ildefonso (2007), os principais aspectos que influenciam na ocorrência da trinca por fadiga nas misturas asfálticas são quanto à viscosidade e teor do ligante, distribuição granulométrica do agregado e volume de vazios.

Para Nuñez (2013), “o papel que o ligante asfáltico tem dentro do processo de fadiga é de importância preponderante, pela capacidade de aglutinar os outros

componentes da mistura asfáltica”, ou seja, a capacidade da mistura asfáltica de resistir à fadiga está intimamente ligada à capacidade de seu ligante asfáltico.

A Tabela 3 mostra a influência do tipo de modificador asfáltico na resistência aos principais defeitos.

Tabela 3 - Benefícios de diferentes tipos de modificadores de asfalto

Modificador	Deformação Permanente	Trincas Térmicas	Trincas de Fadiga	Dano por Umidade	Envelhecimento
Elastômeros	*	*	*		*
Plastômeros	*				
Borracha de pneu	*	*	*		*
Negro-de-fumo	*				*
Cal				*	*
Enxofre	*				
Modificadores químicos	*				
Antioxidante					*
Melhorador de adesividade				*	*
Cal hidratada				*	*

Fonte: Bernucci et al., (2008), p. 65

4.2 – POLIESTIRENO

Os copos descartáveis são feitos de poliestireno (PS), que de acordo com Montenegro (1997) é obtido por meio da polimerização do estireno (através do etilbenzeno derivado do benzeno e do eteno) possuindo um arranjo atático, ou seja, com regularidade quase inexistente sendo predominantemente amorfo. Segundo Meireles (2007) possui uma boa resistência elétrica, além de boas propriedades térmicas e mecânicas, sendo atualmente o material mais presente nos produtos comercialmente vendidos, podendo estar na forma de placas isolantes, aparelhos de som e tv, embalagens de alimentos, brinquedos, móveis, espumas, material escolar, entre outros.

O emprego do poliestireno na modificação de ligantes asfálticos vem sendo estudado pelos pesquisadores, principalmente com a mistura de mais um material, no caso Infante et al (2008) com a borracha de pneus e Botaro et al. (2006) com pó de pneu e lignina organossolve.

Conforme Bernucci et al. (2008), os polímeros são divididos quanto ao seu comportamento às variações térmicas, em:

- termorrígidos: são materiais poliméricos que se tornam permanentemente rígidos quando submetidos ao calor uma primeira vez e não amolecem se este for aplicado novamente. Isto se deve a formação de ligações químicas entre as cadeias moleculares. Se um calor excessivo for aplicado, essas ligações podem ser quebradas, mas o polímero estará degradado, dessa forma sua reciclagem se torna complicada.
- termoplásticos: são materiais poliméricos que amolecem sob a ação do calor e enrijecem quando resfriados, de modo reversível. Normalmente consistem de cadeias lineares, mas podem ser também ramificadas. São incorporados aos asfaltos a alta temperatura e alguns podem ser dissolvidos em vários solventes, possibilitando a reciclagem.
- elastômeros: são aqueles que, quando aquecidos, se decompõem antes de amolecer, com propriedades elásticas.
- elastômeros termoplásticos: são aqueles que, a baixa temperatura, apresenta comportamento elástico, porém quando a temperatura aumenta passam a apresentar comportamento termoplástico.

O poliestireno é classificado como um polímero termoplástico. De acordo com o estudo de Infante et al (2008), para o ensaio de penetração do asfalto modificado com 1% de poliestireno à 170 °C ele apresentou resultados de 78,50 mm, enquanto com o modificado a 180 °C , 83 mm, usando de comparação o asfalto convencional que obteve 88 mm. Dessa forma, foi possível considerar o asfalto modificado à maior temperatura como próprio para utilização em pavimentação por estar na categoria 80-100 como asfalto de penetração. O Quadro 1 e a Figura 6 mostram alguns valores do ensaio de penetração feito por Infante et al. (2008).

Quadro 1 – Variação percentual da penetração do asfalto modificado a 170 °C e 180 °C em comparação a asfalto convencional

ASFALTO CONVENCIONAL MODIFICACIÓN A 170°C = 84,5 MODIFICACIÓN A 180°C = 88				
% de Modificadores	Modificación a 170°C		Modificación a 180°C	
	Resultado	Variación	Resultado	Variación
1% poliestireno	78,50	-7,10%	83	-5,68%
1% poliestireno + 12% llanta triturada	73,33	-13,22%	78	-11,36%
1% poliestireno + 14% llanta triturada	68,50	-18,93%	73,12	-16,91%
1% poliestireno + 16% llanta triturada	61,67	-27,02%	66,35	-24,60%
1% poliestireno + 18% llanta triturada	55,50	-34,32%	59,01	-32,94%
1% poliestireno + 20% llanta triturada	51,33	-34,61%	57,56	-34,59%

Fonte: Infante et al., (2008), p.72

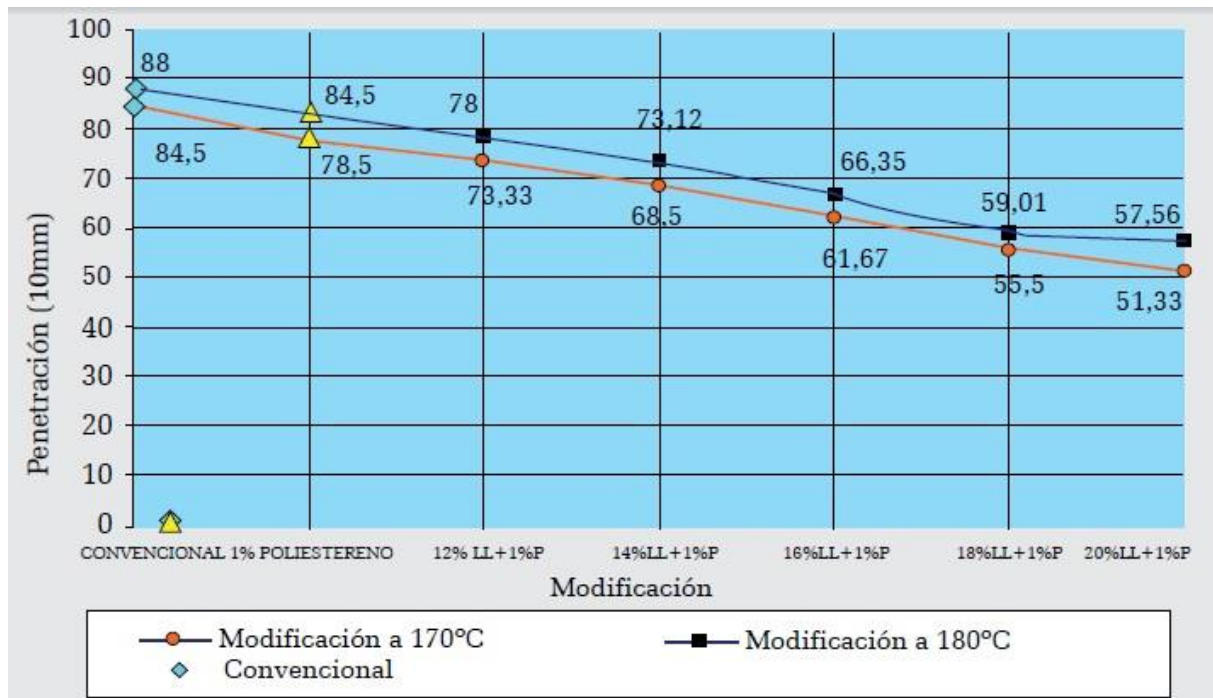


Figura 6 – Variação da penetração com porcentagens diferentes de modificadores a 170 °C e 180 °C.

Fonte: Fonte: Infante et al., (2008), p.72

No ensaio de penetração realizado por Botaro et al. (2006), foram analisadas seis diferentes porcentagens de poliestireno no asfalto modificado (de 1% a 6%) comparando-se com o CAP20. O asfalto modificado apresentou melhores resultados devido ao polímero se mostrar relativamente rígido a temperatura ambiente o que tornou a amostra mais resistente à penetração da agulha, concluindo-se que a adição de cadeias lineares do poliestireno modifica o comportamento plástico das

blendas aumentando sua rigidez. A Figura 7 apresenta os ensaios de penetração realizados por Botaro et al. (2006).

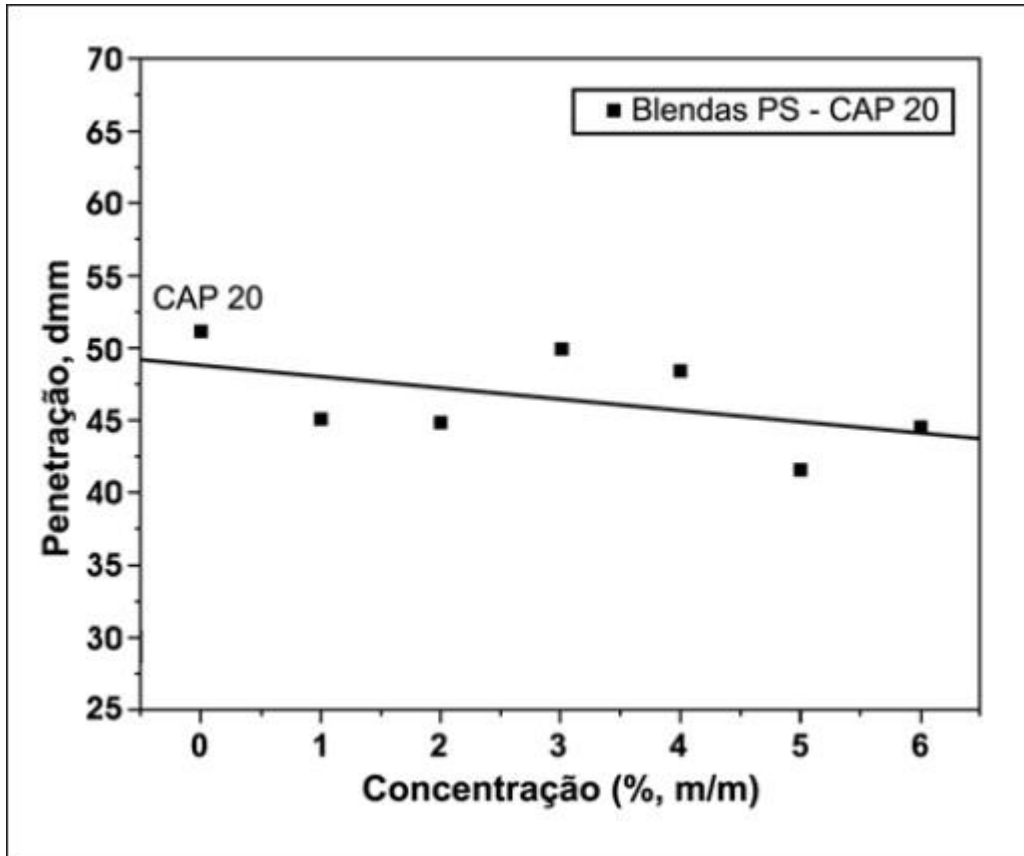


Figura 7 - Ensaio de penetração envolvendo as blendas de OS e CAP 20

Fonte: Botaro et al., (2006), p. 120

No ensaio de amolecimento feito por Infante et al. (2008), mais uma vez o ligante modificado a 180 °C obteve um melhor resultado que o de 170 °C, porque na maior temperatura a mistura foi realizada no dispersor de asfaltos onde foi melhor diluída do que pelo método manual feito na menor temperatura. Comparada às amostras com porcentagens de borracha de pneu ela alcançou menor eficácia, porém quando comparada às amostras de asfalto convencional foi superior. O Quadro 2 e a Figura 8 mostram alguns valores do ensaio de ponto de amolecimento realizado por Infante et al. (2008).

Quadro 2 – Variação percentual do ponto de amolecimento do asfalto modificado a 170 °C e 180 °C e comparação ao asfalto convencional

ASFALTO CONVENCIONAL MOD. 170°C = 47 MOD.180°C = 48				
% de Modificadores	Modificación a 170°C		Modificación a 180°C	
	Resultado	Variación	Resultado	Variación
1% poliestireno	48,75	3,72%	49,5	3,13%
1%poliestireno+12%llanta triturada	51,25	9,04%	52,0	8,33%
1%poliestireno+14%llanta triturada	53,25	13,30%	54,7	13,96%
1%poliestireno+16%llanta triturada	54,75	16,49%	56,9	18,54%
1%poliestireno+18%llanta triturada	56,75	20,74%	58,7	22,30%
1%poliestireno+20%llanta triturada	58,75	25,00%	61,0	27,08%

Fonte: Infante et al., (2008), p.76

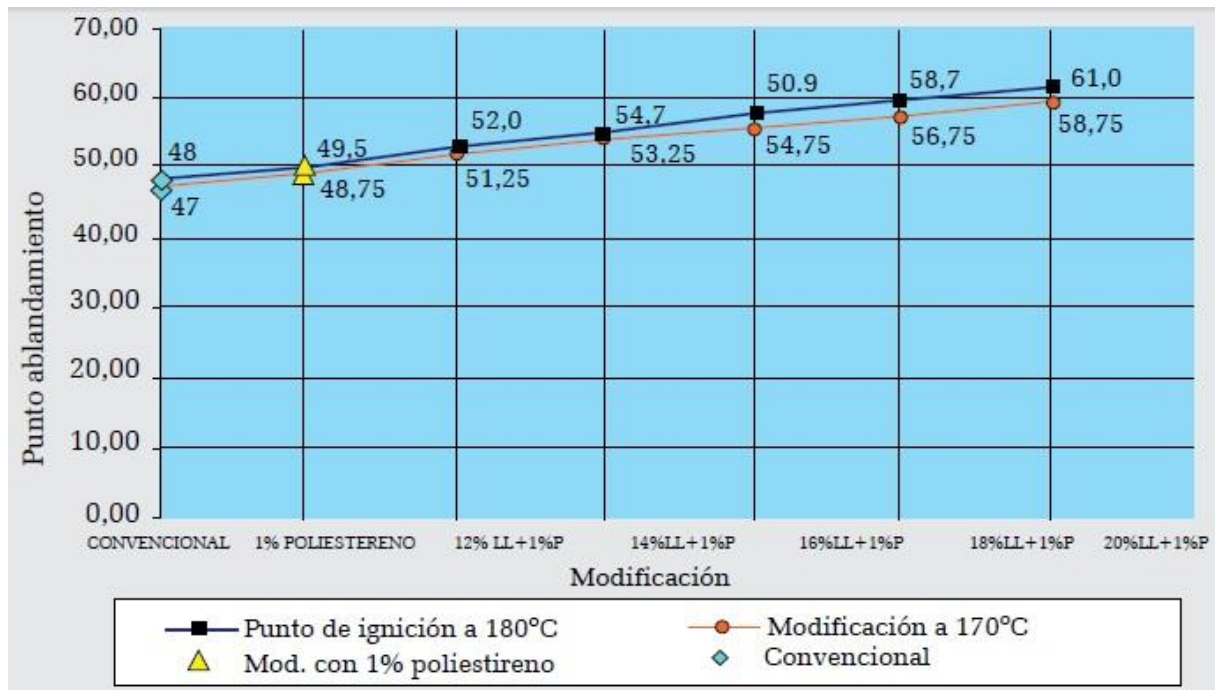


Figura 8 - Variação do ponto de amolecimento com porcentagens diferentes de modificadores a 170 °C e 180 °C

Fonte: Infante et al., (2008), p.76

Botaro et al. (2006) observou que as amostras modificadas com o poliestireno apresentaram maior temperatura de amolecimento, pelo polímero ser reativamente estável e apresentar uma temperatura de amolecimento superior a 100 °C. Isto se torna uma vantagem para o ligante, visto que permite uma aplicação em condições de rodagem com temperatura ambiente mais alta sem perda de suas propriedades e resistências. A Tabela 6 apresenta alguns valores do ensaio de ponto de amolecimento feito por Botaro et al. (2006).

Tabela 4 - Resultados obtidos para os ensaios de ponto de amolecimento realizados para o CAP 20, blendas de CAP 20 com 0,6 % de PPN, CAP 20 com 6 % de PS e CAP 20 com 6% de LIG.

Amostras	Ensaio I ($\pm 0,5$ °C)	Ensaio II ($\pm 0,5$ °C)	Ponto de Amolecimento Médio (T, °C)
CAP20	52,8	53,0	52,9
CAP20PPN6	54,7	55,0	54,9
CAP20LIG6	54,0	54,5	54,3
CAP20PS6	57,7	58,0	57,9

Fonte: Botaro et al., (2006), p. 121

Os trabalhos de Infante et al. (2008) e Botaro et al (2006) mostraram que a utilização do poliestireno como modificador do ligante asfáltico apresenta bons resultados quando comparados ao CAP sem modificação e também quando misturados a outros materiais, tornando possível a utilização desse material reciclável para melhorar as propriedades do ligante asfáltico, contribuindo para a existência de uma forma de destinação mais sustentável.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 DOSAGEM

Baseado no trabalho de Infante et al. (2008) e para que haja uma maior variedade de resultados nos ensaios, foram utilizadas três diferentes porcentagens de modificação de poliestireno, com 1%, 3% e 5% em comparação com uma amostra de CAP sem modificação. Para cada porcentagem foram moldadas três amostras por ensaio.

Foram misturados 750 gramas de CAP para cada porcentagem de poliestireno, dessa forma, na de 1% foram adicionados 7,5 gramas, na de 3%, 22,5 gramas e na de 5%, 37,5 gramas. As Figuras de 9 a 12 apresentam em peso a quantidade de material utilizada para cada mistura.

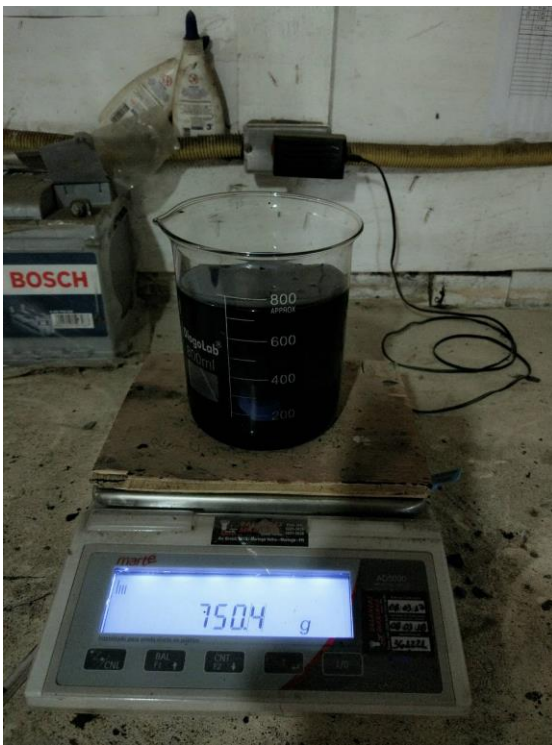


Figura 9 - Peso do CAP

Fonte: Autoria própria (2017)



Figura 10 - Peso de 1% de adição de poliestireno

Fonte: Autoria própria (2017)



Figura 11 - Peso de 3% de adição de poliestireno

Fonte: Autoria própria (2017)

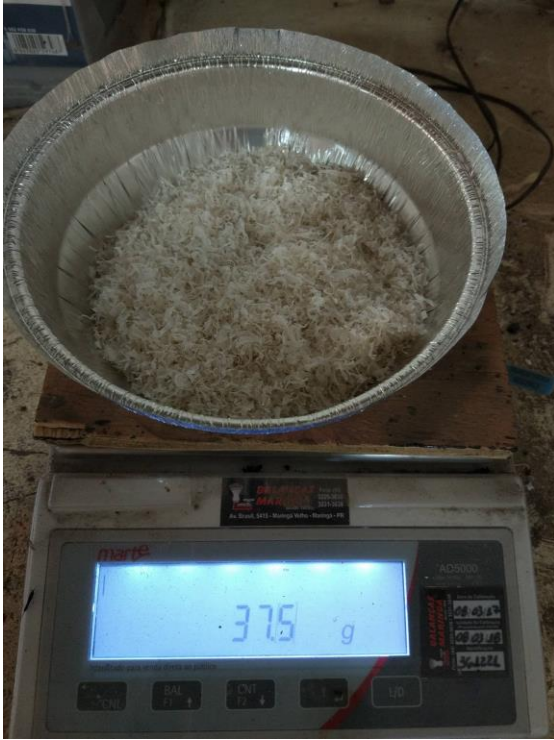


Figura 12 - Peso de 5% de adição de poliestireno

Fonte: Autoria própria (2017)

5.2 POLIESTIRENO

O poliestireno utilizado é proveniente dos copos descartáveis de 300 ml da marca Orleplast, pesando cada um cerca de 2,9 gramas, que foram utilizados no restaurante da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Campo Mourão. Eles foram recolhidos, lavados, secados naturalmente e retirado o fundo e a borda superior para que só fosse utilizado sua lateral, com o objetivo de obter um material mais homogêneo. Então com o auxílio de um moedor utilizado no laboratório de pavimentação do Consórcio CCL CCM Pavidez (normalmente usado para moer o polímero SBS) 120 copos descartáveis foram moídos para a realização dos ensaios. A Figura 13 apresenta a parte que foi utilizada do copo descartável para a realização das formulações e a Figura 14 mostra o tamanho do poliestireno que foi colocado nas formulações, após o processo de moagem.



Figura 13 - Copo descartável sem fundo e sem borda superior
Fonte: Autoria própria (2017)



Figura 14 - Copos descartáveis moídos
Fonte: Autoria própria (2017)

5.3 MISTURA

No laboratório do Consórcio CCL CCM Pavidez os copos descartáveis triturados foram adicionados ao CAP que esteve em “banho-maria” durante 3 horas

e misturados a ele manualmente, a uma temperatura de 170 °C durante cerca de 50 minutos. A mistura continuou com a temperatura reduzida para 135 °C. O CAP utilizado foi 50/70, fornecido pela usina asfáltica do Consórcio CCL CCM Pavidez, resultando assim em 3 amostras para cada porcentagem de adição. As Figuras 15 e 16 apresentam o processo de mistura entre o ligante asfáltico e o poliestireno.



Figura 15 - CAP sendo aquecido

Fonte: Autoria própria (2017)



Figura 16 - Copos descartáveis moídos adicionados ao CAP

Fonte: Autoria própria (2017)

5.4 ENSAIO DE PENETRAÇÃO

O ensaio foi realizado segundo a norma rodoviária ABNT NBR 6576/98.

Em um recipiente de metal foi colocado a amostra de CAP modificada. Com o auxílio de penetrômetro onde a haste e a agulha se equilibram, do termômetro para medir a temperatura que deve estar em 25°C e do cronômetro para medir os 5 segundos em que a agulha deve estar em contato com a amostra, o ensaio foi realizado. Foi colocado em cima da agulha o peso de 50g, totalizando um peso de 100g e medido o valor de penetração em décimo de milímetros (dmm) marcado no mostrador do penetrômetro. Foram realizadas três penetrações em cada amostra e então encontrada o valor médio para cada uma. A Figura 17 apresenta a amostra imersa no banho de 25°C e a Figura 18 apresenta o equipamento para realização do ensaio de penetração.



Figura 17 - Amostra imersa a 25 °C

Fonte: Autoria própria (2017)



Figura 18 – Agulha sendo penetrada na amostra

Fonte: Autoria própria (2017)

5.5 ENSAIO DE PONTO DE AMOLECIMENTO

O ensaio de ponto amolecimento ou “anel e bola”, foi realizado de acordo com a norma da ABNT NBR 6560/2000.

A amostra de CAP modificado foi colocada dentro dos anéis e deixado em repouso durante 30 minutos. Após isso, com o auxílio de uma espátula foi retirado o excesso e então introduzido juntamente com as esferas ao béquer com água a 25°C. Quando a temperatura atingiu 32°C, a chama foi regulada de modo que a temperatura aumentava 5°C a cada minuto, depois dos primeiros 3 minutos. A temperatura foi registrada quando a amostra que envolve o anel tocou a placa inferior. A Figura 19 mostra a preparação do aparato para o ensaio de ponto de amolecimento e a Figura 20 mostra o momento em que o ligante asfáltico toca a placa inferior, o que significa que o ensaio está finalizado.



Figura 19 - Preparação para o ensaio de ponto de amolecimento
Fonte: Autoria própria (2017)



Figura 20 - Ensaio de ponto de amolecimento finalizado
Fonte: Autoria própria (2017)

5.6 ENSAIO DE PONTO DE FULGOR

O ensaio de ponto de fulgor foi feito conforme a ABNT NBR 11341/2004.

No Vaso Aberto Cleveland foi colocada a amostra do CAP modificado e então aquecido até que os vapores emanados se inflamaram. A temperatura mínima em que houve a inflamação foi medida com o auxílio de um termômetro. A Figura 21 e 22 apresentam a preparação da amostra para o ensaio e a realização do ensaio, respectivamente.



Figura 21 - Preparação para o ensaio de ponto de fulgor

Fonte: Autoria própria (2017)



Figura 22 - Amostra sendo aquecida
Fonte: Autoria própria (2017)

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 ENSAIO DE PENETRAÇÃO

De acordo com Specht (2004) “o ensaio de penetração é uma medida indireta de consistência dos materiais asfálticos que serve para qualificação e especificação de cimento asfálticos”.

A partir da realização do ensaio de penetração obteve-se os seguintes resultados, apresentado na tabela 5 e no gráfico 1:

Tabela 5 - Resultados obtidos no ensaio de penetração (em dmm)

Amostra	Ensaio I	Ensaio II	Ensaio III	Resultado Médio
CAP	52	51	53	52
CAP + 1% PS	58	59	60	59
CAP + 3% PS	62	60	64	62
CAP + 5% PS	64	63	62	63

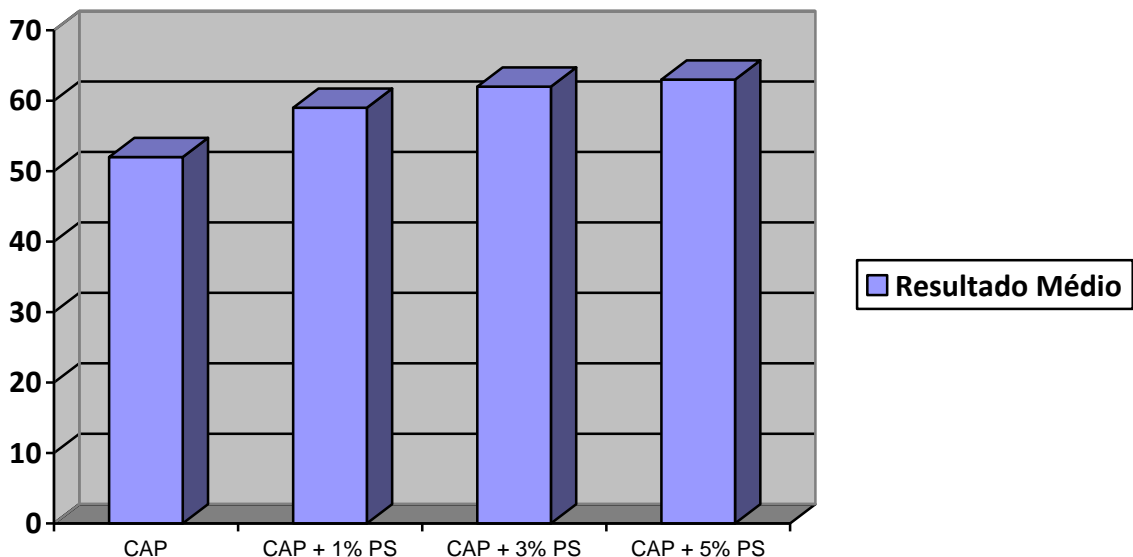


Gráfico 1 – Resultados do Ensaio de Penetração (em dmm)

De acordo com os resultados obtidos pelo ensaio de ponto de penetração, percebe-se que a modificação do CAP com poliestireno diminuiu sua consistência

quando comparada com o CAP após modificação. A porcentagem de modificação influencia no aumento do valor do ensaio de penetração. É possível observar que a adição de 1% de poliestireno já faz com que o ensaio de penetração saia de 52 dmm (CAP 50/70) para 59 dmm (CAP + 1%PS). Para 3 e 5% de poliestireno observa-se ainda um aumento de valores no ensaio de penetração (62 dmm e 63 dmm, respectivamente), mas este aumento foi menor em proporção se comparado a adição de 1% de poliestireno. Com estes resultados, pode-se observar que a adição de poliestireno em qualquer proporção acarretou em uma perda de consistência do material.

6.2 ENSAIO DE PONTO DE AMOLECIMENTO

O ensaio do ponto de amolecimento também conhecido como “ensaio anel e bola”, constitui-se de acordo com a norma rodoviária ABNT NBR 6560/2000 que é definida pela análise de uma temperatura obtida no momento em que uma amostra de ligante asfáltico atravessa um anel metálico padronizado tocando uma placa de referência em consequência do peso de uma esfera metálica também padronizada que é colocada sobre o material.

A partir da realização do ensaio de ponto de amolecimento obteve-se os seguintes resultados, apresentado na tabela 6 e gráfico 2:

Tabela 6 - Resultados obtidos no ensaio de ponto de amolecimento

Amostra	Ensaio I (°C)	Ensaio II (°C)	Ensaio III (°C)	Resultado Médio (°C)
CAP	49	48,5	48	48,5
CAP + 1% PS	49,5	48,5	49	49
CAP + 3% PS	49	49	49	49
CAP + 5% PS	52	50	51	53

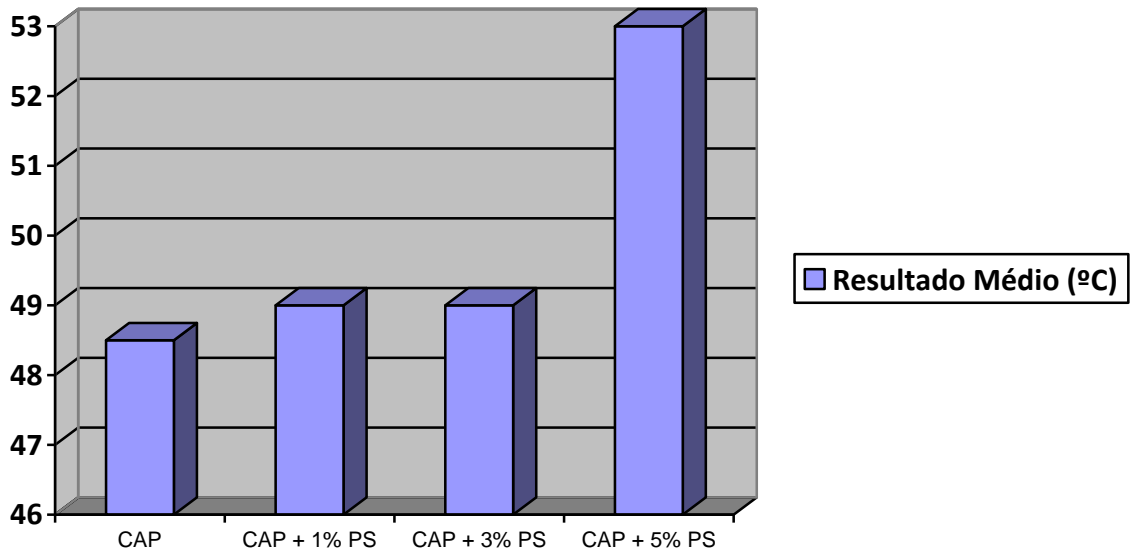


Gráfico 2 – Resultados do Ensaio de Ponto de Amolecimento

Os resultados obtidos nos ensaios de ponto de amolecimento mostram que a modificação com o poliestireno melhorou, porém pouco, a temperatura em que o asfalto amolece e chega a uma condição de escoamento definida. Percebe-se que o aumento foi pouco para a adição de 1 e 3% de poliestireno no ligante asfáltico. Ocorre um aumento de 0,5°C em relação ao CAP de base (48,5°C). Já com a adição de 5% de poliestireno ocorre um aumento do valor do ensaio de ponto de amolecimento para 53°C. Este aumento já é mais significativo se comparado com o CAP 50/70. O aumento do ponto de amolecimento é um indício que o material consegue resistir a temperaturas mais altas, sem perder suas principais características em campo.

6.3 ENSAIO DE PONTO DE FULGOR

De acordo com a ABNT NBR 11341/2004, o ensaio do ponto de fulgor se refere à menor temperatura na qual os vapores emanados pelo aquecimento do ligante asfáltico se inflamam por contato com uma chama padronizada. Está ligado a segurança de manuseio durante transporte, estocagem e manuseio do asfalto

A partir da realização do ensaio de ponto de fulgor obteve-se os seguintes resultados, apresentado na tabela 7 e gráfico 3:

Tabela 7 - Resultados obtidos no ensaio de ponto de fulgor

Amostra	Ensaio I (°C)	Ensaio II (°C)	Ensaio III (°C)	Resultado Médio (°C)
CAP	305	303	307	305
CAP + 1% PS	320	322	318	320
CAP + 3% PS	320	320	320	320
CAP + 5% PS	320	320	320	320

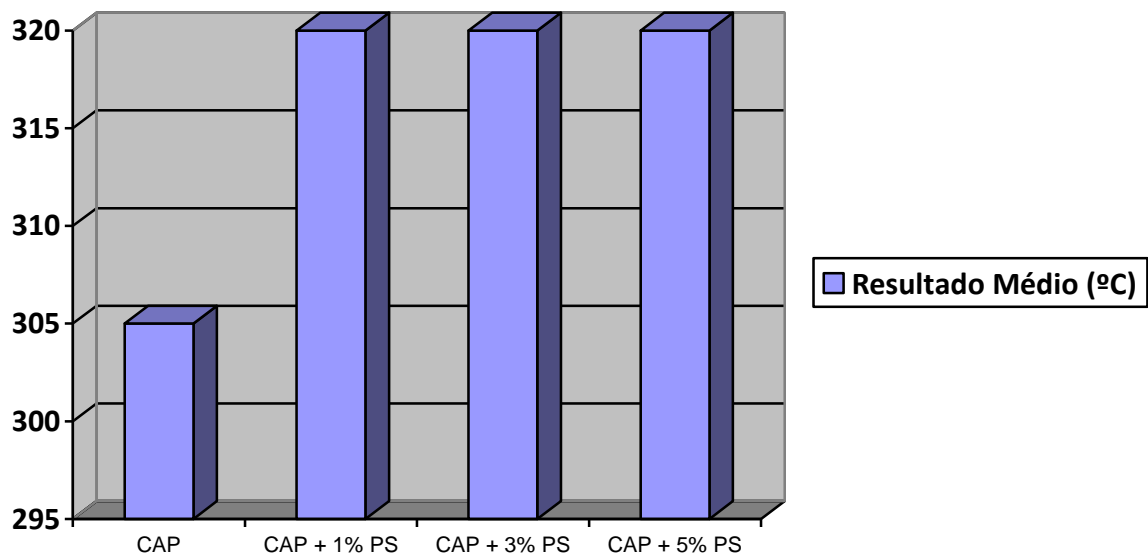


Gráfico 3 – Resultados do Ensaio de Ponto de Fulgor

Com base dos resultados obtidos, foi possível constatar que a modificação com o poliestireno melhorou a resistência a altas temperaturas do CAP, o que favorece suas condições de segurança durante manuseio e transporte do material.

7 CONCLUSÃO

Esta pesquisa estudou, experimentalmente por meio de três ensaios, a utilização de poliestireno proveniente de copos descartáveis moídos, sem nenhum tipo de tratamento, comparando seus resultados com amostra de um CAP sem modificação para assim determinar se este material traria benefícios para o ligante. A partir dos resultados obtidos nos ensaios realizados, pode-se concluir que:

Os resultados do ensaio de penetração demonstram que quando o CAP foi modificado mesmo com a menor porcentagem, de 1%, já houve um aumento na quantidade que foi penetrada de agulha. Essa quantidade aumentou conforme a porcentagem de adição do polímero também aumentou, demonstrando assim que o poliestireno torna o CAP menos consistente. O aumento do ensaio de penetração a 25°C mostra que a esta temperatura a consistência do material diminui conforme ocorre o aumento da modificação, ou seja, a rigidez do material em geral diminui. Temperaturas de 25°C são temperaturas em que o processo de trincas por fadiga geralmente ocorre, portanto tem-se indícios que a adição do poliestireno no ligante asfáltico de base é prejudicial para combater o defeito de trincas por fadiga, o que acarreta na necessidade de mais atividades de manutenção e reabilitação do pavimento com maior frequência. Vale lembrar que é necessário a realização de todos os ensaios previstos em norma para confirmarmos este indício.

Para o ensaio de ponto de amolecimento, as amostras modificadas apresentaram resultados semelhantes entre si e maiores resultados, quando comparados com os valores do CAP sem modificação. O ensaio de ponto de amolecimento mostra um aumento da temperatura em que o material flui. Tem-se um aumento da temperatura com a adição de poliestireno (mais visível com a adição de 5% de poliestireno) o que mostra que a adição do poliestireno faz com que o material consiga suportar temperaturas mais altas sem perder suas características iniciais. O defeito conhecido como deformação permanente geralmente ocorre a temperaturas mais elevadas e este ensaio trouxe indícios que a adição de poliestireno consegue suportar temperaturas mais elevadas sem sofrer o processo de deformação permanente. Observando os valores absolutos do ensaio, o aumento de 48,5° para 53°C com a adição de 5% de poliestireno traz uma sobrevida do material, porém é necessário observar a região de utilização do ligante asfáltico

modificado com este polímero pois existem alguns locais em que são observadas temperaturas médias na pista acima de 55°C, ou seja, mesmo com a adição do poliestireno, o processo de deformação permanente aconteceria da mesma maneira que ocorre ao CAP convencional.

O ensaio de ponto de fulgor apresentou resultados iguais nas três diferentes porcentagens de modificação que foram superiores ao resultado do CAP sem modificação, mostrando assim o favorecimento neste aspecto que a modificação com poliestireno trouxe ao CAP, já que os resultados foram 43,5% superiores ao valor mínimo que a norma exige.

Os resultados mostram de forma geral que a modificação usando o poliestireno de copos descartáveis aumenta a resistência do CAP às altas temperatura, melhorando sua capacidade de suporta-las sem amolecer e também colaborando para uma maior segurança no trabalho e estocagem do material.

Os ensaios realizados mostraram valores contraditórios, pois o ensaio de penetração mostra uma perda na consistência do material a temperaturas de 25°C e o ensaio de ponto de amolecimento mostra um ganho de consistência a temperaturas mais elevadas. Possivelmente a adição de poliestireno diminui algumas características fundamentais do asfalto (diminuindo sua rigidez), mas consegue manter estas propriedades (mesmo que menores) até temperaturas mais elevadas.

O que se busca na adição de um polímero é que ele aumente a consistência (diminua o ensaio de penetração) e mantenha esta consistência por um tempo maior (aumente a temperatura do ensaio de ponto de amolecimento). É claro que mais ensaios devem ser realizados para se obter a caracterização completa do material. Com os resultados obtidos há indícios que este material não deve ser utilizado em estradas com grandes fluxos de tráfego, pois o polímero adicionado ficou abaixo da expectativa que se espera da adição de um material deste tipo no ligante asfáltico. Caso apresente uma viabilidade econômica boa, pode-se estudar a utilização deste material em estradas com baixos volumes de tráfego.

Para trabalhos futuros pode-se fazer:

- Testar o CAP 50/70 com a adição de porcentagens superiores de poliestireno (de 5 a 15% em peso);

- Realizar os outros ensaios especificados na norma brasileira para caracterização completa do material;
- Observar a viabilidade deste material em estradas com baixo volume de tráfego ou estradas vicinais.

8 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Determinação do Ponto de Amolecimento de Materiais Betuminosos – Método do Anel e Bola:** ABNT/MB-164/NBR 6560. Rio de Janeiro, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Materiais Betuminosos – Determinação da Penetração:** ABNT/ NBR 6576. Rio de Janeiro, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Produtos de Petróleo – Determinação do Ponto de Fulgor e de Combustão em Vaso Aberto de Cleveland:** ABNT/ NBR 11341. Rio de Janeiro, 2004.

BERNUCCI, Liedi B., MOTTA, Laura Maria G., CERATTI, Jorge Augusto P., SOARE, Jorge B. **Pavimentação asfáltica:** formação básica para engenheiros. Rio de Janeiro: Petrobras, 2008.

BOTARO, Vagner R., CASTRO, Samuel R., RODRIGUES, Fausto J., CERANTOLA, Andrea E. Obtenção e caracterização de blendas de asfalto CAP 20, modificado com poliestireno reciclado, resíduos de pneu e lignina organossolve. **REM: Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, v. 59, n.1, p. 117-122, jan-mar. 2006.

CERATTI, Jorge Augusto P., REIS, Rafael Marçal M. **Manual de dosagem de concreto asfáltico.** São Paulo: Oficina de textos, 2011.

CNT, Confederação Nacional do Transporte. **Pesquisa CNT de Rodovias 2016:** Relatório gerencial. 2016. Disponível em: <[http://pesquisarodoviascms.cnt.org.br//Relatorio%20Geral/Pesquisa%20CNT%20\(2016\)%20-%20LOW.pdf](http://pesquisarodoviascms.cnt.org.br//Relatorio%20Geral/Pesquisa%20CNT%20(2016)%20-%20LOW.pdf)>. Acesso em: 24 mai. 2017.

HIRSCH, Fábio. **Estudo do comportamento de misturas asfálticas preparadas com diferentes tipos de ligantes.** 2007. 130 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Departamento de Tecnologia Curso de Engenharia Civil, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2007.

ILDEFONSO, Jesner S. **Análise da viabilidade técnica da utilização do copolímero etileno acetato de vinila (EVA) descartado pela indústria calçadista em misturas asfálticas (processo seco)**. 2007. 335 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia de Transportes da Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

INFANTE, Ana F., SANTANILLA, Elsa F., AMAYA, Claudia P., CAMELO, Martha R. Contrastación entre el asfalto modificado com poliestireno y llanta triturada empleando dos métodos de mesclado. **Revista Épsilon**, Bogotá, n. 10, p. 67-79, jan-jun. 2008.

MEIRELES, Carla S. **Síntese e caracterização de membranas de acetato de celulose, obtido do bagaço da cana-de-açúcar, e blendas de acetato de celulose com poliestireno de copos plástico descartados**. 2007. 80 f. Dissertação (Mestrado em Química) – Instituto de Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2007.

MONTENEGRO, Ricardo S., ZAPORSKI, Janusz, OLIVEIRA, Kátia V., RIBEIRO, Márcia M. **Poliestireno**. Área de operações industriais 1 – AO1, Banco Nacional do Desenvolvimento (BNDES), out. 1997. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/relato/poliesti.pdf>. Acesso em: 11 mai. 2016.

MORILHA, Armando J. **Estudo sobre a ação de modificadores no envelhecimento dos ligantes asfálticos e nas propriedades mecânicas e de fadiga das misturas asfálticas**. 2004. 185 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

NUÑEZ, Javier Y. M. **Caracterização à fadiga de ligantes asfálticos modificados envelhecidos a curto e longo prazo**. 2013. 139 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia de Transportes da Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.

SANTOS, Thais M.; AMADEO, Raíssa M.; GUAZZELLI, Gustavo M.; CORNELI, Vanessa. Coleta Seletiva da Universidade Tecnológica Federal do Paraná do

Campus Campo Mourão. In: Seminário de Extensão e Inovação da UTFPR, 5, 2015, Campo Mourão. **Anais...** Campo Mourão, PR, 2015.

SENÇO, Wlastermiller de. **Pavimentação**. São Paulo: Publicação do Grêmio Politécnico da Escola Politécnica da USP, 1979.

SPECHT, Luciano P. **Avaliação de misturas asfálticas com incorporação de borracha reciclada de pneus**. 2004. 280 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.