

Análise da Adição de Polietileno Tereftalato (PET) em Misturas Asfálticas

Jéssica Lorrany Pereira Bittencourt 1

Estudante, Centro Universitário do Distrito Federal, Brasília, Brasil, bjessica737@gmail.com

Layna Andrade Miranda de Abreu 2

Estudante, Centro Universitário do Distrito Federal, Brasília, Brasil, laynaandrade.la@gmail.com

Tatiane da Silva Melo Monticello Dantas 3

Estudante, Centro Universitário do Distrito Federal, Brasília, Brasil, tatianesmelomd@gmail.com

Marcone de Oliveira Junior 4

Mestre, Centro Universitário do Distrito Federal, Brasília, Brasil, marcone@outlook.com

RESUMO: Diante da responsabilidade com o meio ambiente e com as leis ambientais, as empresas devem encontrar formas alternativas de reciclagem, como também mudanças de materiais para substituir e desenvolver novos produtos, mantendo a competitividade no mercado de trabalho. Este artigo tem como objetivo geral apresentar as principais características de um pavimento asfáltico modificado com plástico reciclado. Além disto, esta pesquisa visa comparar as propriedades mecânicas de uma mistura asfáltica convencional com uma mistura modificada com Polietileno Tereftalato (PET). Visa também analisar se a adição do PET contribuiu para uma redução dos defeitos gerados pela fadiga ou grandes deformações, como as trincas e o afundamento de trilha de roda, além de oferecer ao Brasil uma nova forma para a correta reciclagem dos materiais utilizados, visando em um futuro próximo a implementação dessa nova tecnologia. Neste artigo utilizou-se como metodologia uma abordagem quantitativa embasada em pesquisas bibliográficas através de teses, artigos, livros e sites. Mediante a pesquisa bibliográfica foi possível levantar informações sobre as propriedades mecânicas das misturas asfálticas e realizar uma simulação numérica por meio do software MeDiNa para analisar a influência do polímero no pavimento. Dessa forma concluiu-se que a adição do PET traz um benefício no que tange ao aumento da vida útil e a diminuição das trincas no pavimento, diminuindo consequentemente as manutenções e oferecendo um pavimento mais durável, além de contribuir para a reutilização de materiais plásticos no Brasil.

PALAVRAS-CHAVE: Plástico Reciclado, Polietileno Tereftalato, Mistura Asfáltica, Pavimentação, MeDiNa

ABSTRACT: Facing of the responsibility with the environment and environmental laws, companies must find alternative ways of recycling, and, as well, changing of materials to replace and develop new products, remaining the competitiveness in the job's market. This article aims to present the main characteristics of a modified asphalt pavement with recycled plastic. Furthermore, this research aims to compare the mechanical properties of a conventional asphalt mixture with a modified polyethylene terephthalate (PET) mixture. It also aims to analyze if the addition of PET contributed to a reduction of fatigue defects or large deformations, such as cracks and wheel track sinking, besides offering Brazil a new way for the correct recycling of used materials, aiming at near future the implementation of this new technology. In this article was used, as a methodology, a quantitative approach based on bibliographic research through theses, articles, books and websites. Through bibliographic research it was possible to gather information about the mechanical properties of asphalt mixtures and perform a numerical simulation using the MeDiNa software to analyze the influence of the polymer on the pavement. This way, it was concluded that the addition of Polyethylene Terephthalate (PET) has a benefit regarding the increase of the service life and the reduction of cracks in the pavement, reducing, consequently, the maintenances and offering a more durable pavement, besides contributing to the reuse of plastic materials in Brazil.

KEYWORDS: Plastic Recycled, Polyethylene Terephthalate, Asphalt Mixture, Paving, MeDiNa

1 Introdução

A Redação *Hypeness* (2019) compilou dados sobre a primeira estrada desenvolvida a partir de um asfalto produzido com a incorporação de resíduos plásticos, estrada essa, inaugurada por estudantes da Universidade da Califórnia em San Diego nos Estados Unidos. A via foi executada em parceria com a empresa britânica MacRebur que realiza serviços de pavimentação em todo o Reino Unido e Austrália.

Segundo o *World Wide Fund for Nature* (WWF) - Fundo Mundial para a Natureza - o Brasil é o quarto maior produtor de lixo plástico no planeta com cerca de 11,3 milhões de toneladas, ficando atrás apenas dos Estados Unidos, China e Índia. Em seu novo relatório a WWF (2019) adverte que, a não ser que haja uma mudança drástica de abordagem para a crise global de plásticos, poderão entrar em nossos ecossistemas aproximadamente 104 milhões de toneladas adicionais de poluição até 2030.

Todavia, quando se fala em novas tecnologias dentro do ramo da construção civil, não se deve pensar somente na fração sustentável, mas em um conjunto de técnica, economia e sustentabilidade. Diante do exposto, levantou-se o seguinte questionamento: Como as propriedades de mistura asfáltica podem ser afetadas ao incorporar os resíduos plásticos? Positivamente ou negativamente?

Nesse caso, o objetivo geral da presente pesquisa é expor as principais características de um pavimento modificado com plástico reciclado. Para tanto foram delineados os seguintes objetivos específicos: comparar as propriedades mecânicas de uma mistura asfáltica convencional com uma mistura modificada por Polietileno Tereftalato, analisar se a adição do PET contribuiu para uma redução dos defeitos gerados pela fadiga ou grandes deformações e oferecer ao Brasil uma nova forma para a reciclagem dos materiais utilizados, visando em um futuro próximo a implementação dessa nova tecnologia.

Parte-se da hipótese de que a ideia seja promissora, pois apesar de ainda não se ter um estudo muito avançado, o PET faz parte da família dos polímeros termoplásticos e os polímeros apresentam diversas características essenciais que produzem uma significativa e crescente colaboração para as construções. Logo, para viabilizar os testes de hipótese, realiza-se uma pesquisa a partir da visão de vários autores, definindo como metodologia uma revisão bibliográfica de abordagem quantitativa e uma simulação numérica.

Na primeira seção, através da pesquisa bibliográfica, é descrita algumas características da adição dos resíduos plásticos nas misturas asfálticas, posteriormente retrata-se a comparação das propriedades mecânicas entre o pavimento convencional e o pavimento modificado com Polietileno Tereftalato (PET) triturado, em seguida essas propriedades são inseridas no *software MeDiNa* para realizar o dimensionamento e a análise da estrutura.

Ao final, conclui-se que os objetivos foram deferidos e a pesquisa encontra-se atendida com a confirmação da hipótese de que a adição do polímero influencia de um modo positivo na pavimentação, proporcionando uma aplicação prática a essa inovação construtiva, indicando que há um aumento da vida útil e uma diminuição da porcentagem da área trincada no pavimento.

2 Referencial Teórico

Nesta seção são apresentadas as publicações acadêmicas que abrangem o contexto apresentado. Além disso, são definidas as características, a partir da bibliografia, de um pavimento com a adição de plástico reciclado.

2.1 Pavimentação Asfáltica

Pavimento é uma estrutura de múltiplas camadas de espessuras finitas, construída sobre a superfície final de terraplenagem, destinada técnica e economicamente a resistir aos esforços oriundos do tráfego de veículos e do clima, e a propiciar aos usuários melhoria nas condições de rolamento, com conforto, economia e segurança. Os pavimentos asfálticos são aqueles em que o revestimento é composto por uma mistura constituída basicamente de agregados e ligantes asfálticos. É formado por quatro camadas principais: revestimento asfáltico, base, sub-base e reforço do subleito (BERNUCCI *et al.*, 2008).

2.2 Asfalto Modificado Por Polímero

Para a maioria das aplicações rodoviárias, os asfaltos convencionais têm bom comportamento, satisfazendo plenamente os requisitos necessários para o desempenho adequado das misturas asfálticas sob o tráfego e sob as condições climáticas. No entanto, para condições de volume de veículos comerciais e peso por eixo crescente, ano a ano, em rodovias especiais ou nos aeroportos, em corredores de tráfego pesado canalizado e para condições adversas de clima, com grandes diferenças térmicas entre inverno e verão, tem sido cada vez mais necessário o uso de modificadores das propriedades dos asfaltos. Entre esses, citam-se asfaltos naturais, gilsonita ou asfáltica, mas especialmente polímeros de vários tipos que melhoram o desempenho do ligante. (BERNUCCI *et al.*, 2008).

2.3 Pavimentação Asfáltica com Adição de Plástico Reciclado – Utilizando o Plástico Como Agente Modificador

De acordo como o *Department of Chemical Engineering – DCE* (2013), a fim de diminuir o impacto causado pelo crescente uso de materiais plásticos, foram desenvolvidas técnicas para a reutilização desses materiais na construção de estradas. Segundo o departamento, as propriedades de ligação do betume podem ser modificadas misturando-o com pedaços de plástico. Eles afirmam que o resultado dessa mistura apresenta uma resistência superior, maior estabilidade, densidade e uma elevada resistência à água, aumentando assim a durabilidade das estradas.

Para DCE (2013), existem dois tipos de processos na incorporação de materiais plásticos às misturas betuminosas: o processo úmido, que é feito por meio da adição dos polímeros triturados ao betume antes da produção da mistura, e o processo seco, em que os agregados quentes são revestidos por resíduos plásticos enxutos e triturados, também antes da produção da mistura.

Em seu estudo experimental o DEC (2013) concluiu que por meio do processo úmido a mistura apresenta uma diminuição na penetração e ductilidade, e um aumento no ponto de amolecimento e ponto de fulgor. Concluiu também que através do processo seco existe uma melhor ligação do betume com o agregado revestido por resíduos de plástico devido ao aumento da área de contato entre polímero e betume. O revestimento de polímero também reduz os vazios, isso impede a absorção de umidade e a oxidação do betume por ar retido, dessa forma a estrada pode suportar tráfego pesado e mostrar melhor durabilidade.

Conforme *Dwivedi et al.* (2017), a durabilidade das estradas dispostas com resíduos plásticos é maior em uma proporção do dobro do tempo, comparada às estradas com misturas asfálticas convencionais. Enquanto uma estrada habitual dura de quatro a cinco anos, alega-se que as estradas de betume plástico podem durar até 10 anos. O custo inicial para a implementação de estradas de plástico pode ser um pouco maior em comparação ao método convencional, porém o custo de manutenção é inferior comparado ao método convencional, visto que possui uma maior vida útil.

Em conformidade com o DEC (2013) e *Dwivedi et al.* (2017), é pertinente ressaltar algumas vantagens e desvantagens, sendo elas condicionadas a um teor de 10% a 40% de substituição do betume por materiais plásticos nas misturas asfálticas, como exposto na Tabela 1.

Tabela 1: Vantagens e Desvantagens da Utilização de Plásticos em Misturas Asfálticas. Fonte: DEC (2013); *Dwivedi et al.* (2017).

VANTAGENS	DESVANTAGENS
Maior resistência; Melhor ligação na mistura; Menor presença de erosões; Melhor resistência à estagnação da água; Menor custo de manutenção; Maior vida útil; Nenhum efeito de radiação como UV; Menor consumo de betume; Redução dos poros no agregado; Redução do volume de vazios.	Maior custo inicial; Controle tecnológico mais apurado; Liberação de gás tóxico; Componente tóxico nos resíduos plásticos inicia a lixiviação.

2.4 Histórico da Implementação de Pavimento com Adição de Plástico Reciclado

O surgimento da ideia de se utilizar plásticos reciclados na pavimentação asfáltica, nasceu quando Toby McCartney, CEO da empresa Macrebur, estava trabalhando no sul da Índia em uma instituição de caridade ajudando pessoas que trabalhavam em aterros sanitários. Alguns resíduos plásticos recuperados foram colocados em buracos, e foi derramado diesel sobre eles e incendiado até o ponto de fundição dos plásticos formando um enchimento de buracos improvisado. (MACREBUR, 2019)

A Índia tem usado o plástico na construção de estradas desde a virada do século, seguindo um processo desenvolvido por Rajagopalan Vasudevan, professor de química da Faculdade de Engenharia de Thiagarajar, na cidade de Madurai, no estado de Tamil Nadu, no sul da Índia. O processo de Vasudevan envolve espalhar o plástico desfiado sobre pedras quentes para formar uma camada fina e primer. Este é então adicionado ao betume, resultando em uma melhor ligação. (KHOURI; SCOTT, 2018).

3 Metodologia

Os fatores estabelecidos para a classificação do estudo foram de acordo com Fontelles (2009). Para a apresentação das características e a comparação das propriedades mecânicas das misturas, o procedimento técnico utilizado foi a busca bibliográfica, que é o estudo sistematizado desenvolvido com base em material publicado em livros, revistas, jornais, redes eletrônicas, isto é, em material acessível em geral.

Para analisar se a adição do PET contribui para uma redução dos defeitos gerados pela fadiga ou grandes deformações, foi adotada uma abordagem quantitativa analítica, que envolve uma avaliação mais aprofundada das informações coletadas, na tentativa de explicar o contexto do fenômeno. Mediante a essa abordagem realizou-se uma simulação numérica onde as informações das propriedades mecânicas das misturas foram inseridas no *software MeDiNa*, que realiza a verificação e o dimensionamento de estruturas de pavimento *mecânico-empírico*, por meio da rotina de análise de múltiplas camadas elásticas, levando em consideração a análise de rompimento por fadiga e deformação permanente.

Tal *software* se encontra divulgado pelo IPR (Instituto de Pesquisas Rodoviárias) do DNIT para fins de teste. Assim sendo, pelo fato de não estar homologado, o programa não deve ainda ser usado, no período corrente, como método de dimensionamento.

O programa *MeDiNa* é apenas uma ferramenta de cálculo que auxilia o projetista. O conhecimento das propriedades dos materiais a serem aplicados na estrutura do pavimento, por meio de ensaios de laboratório, assim como o conhecimento detalhado do tráfego é imprescindível para a elaboração do projeto. O sucesso do projeto somente será alcançado se as propriedades dos materiais consideradas no dimensionamento forem aplicadas no campo e verificadas a partir de ensaios geotécnicos com um controle de qualidade rigoroso. Portanto, a responsabilidade pelo projeto é exclusivamente do engenheiro projetista, que deve entender e avaliar criteriosamente os resultados gerados pelo programa, antes de aprovar o projeto para a execução no campo (FRANCO; MOTTA, 2018).

Na análise, foram considerados parâmetros constantes para que a comparação ocorresse nas mesmas condições, variando apenas a camada de revestimento da estrutura. Foi criado um caso hipotético com alguns parâmetros estabelecidos, como uma via do tipo sistema arterial primário, volume médio diário no ano de abertura do tráfego de 1370, fator de veículo no ano de abertura do tráfego de 1,00, número de passagens anual do eixo padrão (1º ano) de $5,00 \times 10^5$, porcentagem de veículos na faixa de projeto de 100%, taxa de crescimento do tráfego de 3,0% e número equivalente total de passagens do eixo padrão na faixa de projeto de $5,73 \times 10^6$.

Conduzindo-se para a interface do *software*, optou-se como partida uma estrutura padrão, apresentando uma composição de quatro camadas: subleito de solo siltoso, subbase de brita graduada simples, base de brita graduada tratada com cimento e revestimento de concreto asfáltico tendo como ligante o CAP 30/45, sendo o revestimento a camada de interesse para a modificação da mistura com base nos dados das propriedades identificadas na busca bibliográfica, conforme ilustrado na figura abaixo:

CAMADA	DESCRIÇÃO DO MATERIAL	TIPO
>> 1 <<	CONCRETO ASFÁLTICO	CAP 30/45 - M1
2	BRITA GRADUADA TRATADA COM CIMENTO (BGTC)	Balbo, 1993 c: 80 kg/m ³
3	MATERIAL GRANULAR	Brita Graduada - Gnaiss C5
SL	SUBLEITO	Solo Siltoso NS ¹

Figura 1: Materiais Adotados. Fonte: *MeDiNa*.

No *software*, foram criados seis tipos de estruturas com um diferencial apenas da camada de revestimento, na qual as propriedades do concreto asfáltico foram inseridas conforme os valores encontrados na pesquisa de Arao (2016), que estão listados na Tabelas 2, sendo elas o módulo de resiliência, a massa específica, a resistência à tração, o teor de asfalto, o volume de vazios e os coeficientes k_1 e k_2 .

Adiante, partiu-se para o dimensionamento e observou-se que em todos os conjuntos não houve uma grande variação nas espessuras das camadas, dessa forma foi encontrada uma solução mais interessante, sendo ela a fixação das espessuras para se obter um maior controle na análise dos resultados, assim a estrutura tomada como padrão foi a seguinte: revestimento com 5 cm, base e sub-base com 15 cm, conforme ilustrado na Figura 2.

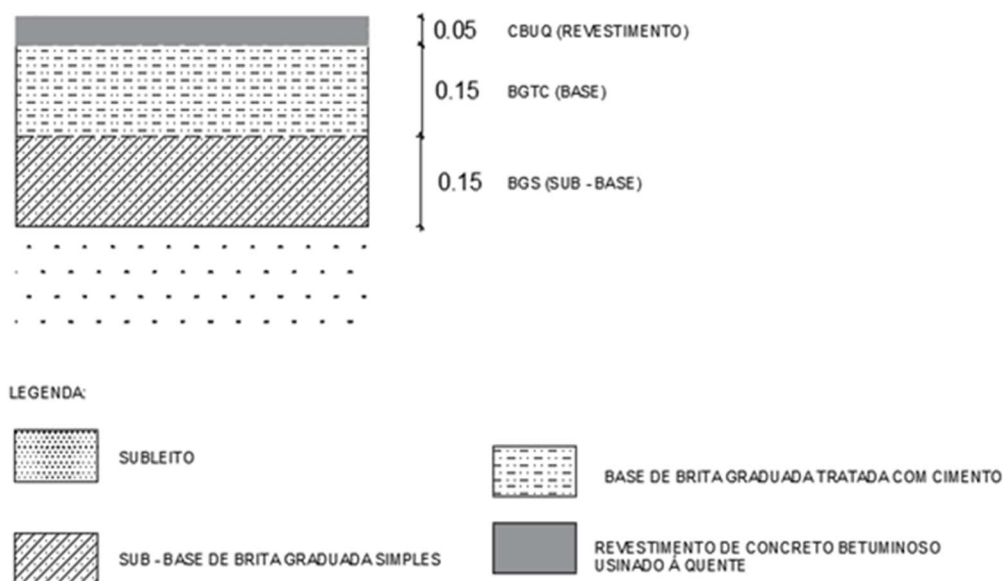


Figura 2: Estrutura Adotada. Fonte: Autores.

Por fim foi possível avaliar a estrutura, gerar e analisar os relatórios que o *software* disponibiliza e conceber um gráfico para melhor visualização dos valores comparativos entre o pavimento convencional e o modificado.

4 Resultados e Discussão

O objetivo deste artigo foi apresentar as principais características de um pavimento modificado com plástico reciclado e comparar as propriedades mecânicas do pavimento com a adição de PET com o pavimento convencional. No primeiro momento houve a preocupação em expor o tema de estudo a partir da visão de alguns autores, dessa forma, os resultados aqui denotados foram obtidos com base na coleta de dados realizada através da pesquisa bibliográfica e através da simulação numérica, utilizando o *software MeDiNa*.

4.1 Análise Comparativa das Propriedades Mecânicas

Arao (2016) em seu estudo do comportamento mecânico de misturas asfálticas com a inserção de Polietileno Tereftalato (PET) triturado, realizou ensaios para compreender como a presença do PET pode melhorar os parâmetros de resistência nos revestimentos asfálticos.

Ao contrário da maior parte das pesquisas com polímeros, não houve a modificação do CAP e, sim, a adição de PET diretamente na mistura e, também, a substituição de uma parte do pó de pedra pelo pó de PET na granulometria da mistura. Desse modo, nas misturas em que os flocos foram inseridos, houve a retirada à porcentagem de PET do total da mistura para não aumentar o peso do corpo de prova. (ARAO, 2016)

A Tabela 2 mostra a comparação das propriedades mecânicas, conforme os resultados obtidos em cada ensaio realizado por Arao (2016). Onde:

M1: CBUQ convencional;

M2: CBUQ com 0,5% de flocos de PET de 2 mm;

M3: CBUQ com 1,0% de flocos de PET de 2 mm;

M4: CBUQ com 0,5% de flocos de PET de 10 mm;

M5: CBUQ com 1,0% de flocos de PET de 10 mm;

M6: CBUQ com 0,5% de flocos de PET de 10 mm e substituição de pó de pedra por 2,5% de pó de PET.

Tabela 2: Tabela comparativa entre as propriedades encontradas em cada mistura. Fonte: Arao (2016).

PROPRIEDADES						
	ESTABILIDADE (kfg)	FLUÊNCIA MARSHALL (mm)	RESISTÊNCIA À TRAÇÃO (Mpa)	MÓDULO DE RESILIÊNCIA (Mpa)	VIDA DE FADIGA (k1)	VIDA DE FADIGA (k2)
M1	1518	7	1,38	6278	8,00E-11	-3,112
M2	1588	7	1,25	7251	4,00E-11	-3,142
M3	1753	8	1,87	5160	2,00E-07	-2,408
M4	1589	9	1,40	5466	5,00E-07	-2,413
M5	1591	8	1,73	5624	5,00E-06	-2,121
M6	1466	9	1,78	6289	7,00E-09	-2,803

Para a Estabilidade Marshall as misturas M2, M4 e M5 obtiveram um pequeno aumento em relação à mistura convencional, já a mistura M6 alcançou uma diminuição. A mistura M3 atingiu um aumento significativo, indicando que a adição de 1% de PET com 2 mm proporciona um aumento no valor da carga máxima necessária para que ocorra uma perda de estabilidade.

Os resultados de Fluência alcançaram valores semelhantes, porém houve um aumento nas misturas com a adição de PET indicando um maior deslocamento vertical nessas misturas.

Os valores de Resistência à Tração indicam que há uma tendência no aumento da resistência conforme é aumentada a porcentagem de PET nas misturas. A mistura M3 com 1% de PET de 2 mm apresenta um aumento de aproximadamente 13% em relação a convencional.

As misturas M3, M4 e M5 obtiveram Módulos de Resiliência menores que a convencional indicando que essas misturas são mais resilientes, ou seja, ao se deformar demoram para devolver a energia responsável por essa deformação. A mistura M2 obteve um maior módulo de resiliência, porém teve um nível de dispersão

muito alto, indicando que os valores não são tão confiáveis. A mistura M6 teve um valor maior de módulo de resiliência indicando que é um material pouco resiliente, que se deforma e devolve a energia mais rapidamente.

4.2 Análise Comparativa Utilizando o Software MeDiNa

Através da simulação numérica das estruturas por meio do *software MeDiNa* e a análise dos relatórios gerados pelo programa, foi possível verificar qual o benefício que a adição do PET traz à mistura asfáltica, conceber um gráfico para melhor visualização dos valores encontrados e assim comparar o pavimento convencional com o modificado, como é mostrado na Figura 3.

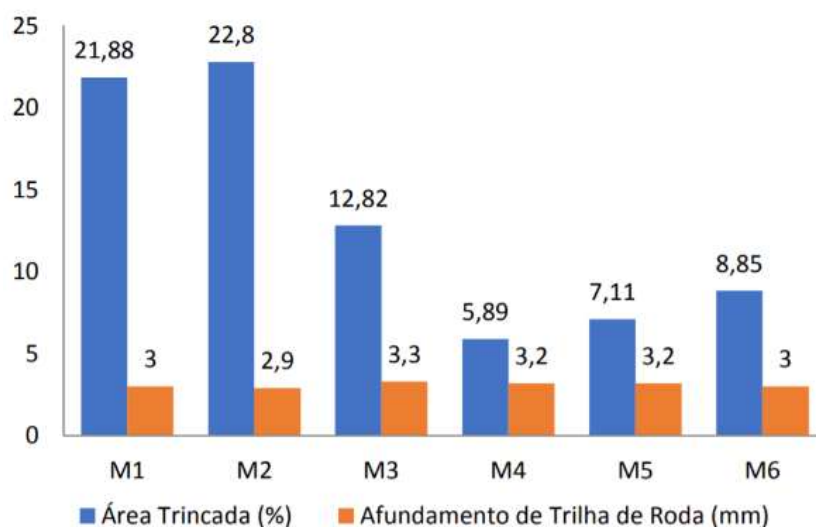


Figura 3: Evolução dos Danos no Pavimento. Fonte: Autores.

Podemos analisar que a adição do PET às misturas asfálticas não reduziu os efeitos gerados pela deflexão, isso se deve porque a espessura do revestimento encontrada em cada dimensionamento não tendeu a variar, visto que os módulos de resiliência das combinações não são tão diferentes. Contudo o composto alcançou um resultado satisfatório, em relação à fadiga, diminuindo a porcentagem de área trincada prevista no pavimento em um período de projeto de 10 anos.

Arao (2016) em sua pesquisa conclui que houve um aumento muito significativo na vida útil das misturas modificadas e de fato um melhoramento no comportamento mecânico em relação à fadiga. Isso se deve ao fato do polímero, quando adicionado à mistura, resultar em um compósito mais elástico, com maior resistência à tração e, portanto, menores danos de trincamento. Nesse caso podemos dizer que a adição de PET traz um benefício no que tange ao aumento de vida útil e a diminuição de trincas no pavimento, diminuindo consequentemente as manutenções e oferecendo um pavimento mais durável, além de contribuir para a reutilização de materiais plásticos no Brasil.

5 Considerações Finais

No início do estudo, foi constatado que havia a necessidade de avaliar a influência da adição de polímeros reciclados nas misturas asfálticas, pois essa nova tecnologia vem sendo explorada em alguns países como os Estados Unidos, Reino Unido, Índia e Austrália. Dessa forma, foi possível apresentar as características essenciais desse tipo de pavimento, como também comparar as propriedades mecânicas de uma mistura asfáltica convencional com uma mistura modificada com Polietileno Tereftalato (PET).

A pesquisa partiu da hipótese de que a ideia seria inovadora, pois apesar de ainda não se ter um estudo muito avançado, o PET faz parte da família dos polímeros termoplásticos e os polímeros apresentam várias propriedades fundamentais, como uma excelente resistência ao ataque de substâncias e a deformações e um baixo nível de absorção de umidade. Além disso, a utilização de outros tipos de polímeros, como a borracha, é prática corrente no meio da pavimentação, o que pode ser um ponto de partida para os estudos.

Mediante a utilização do *software* MeDiNa, tornou-se possível analisar qual o benefício que a adição de PET engloba à mistura, alcançando um resultado satisfatório, pois afirmou-se que há um aumento da vida útil e uma diminuição da porcentagem da área trincada no pavimento, acarretando em uma menor necessidade de manutenção e proporcionando um pavimento mais durável, além de contribuir para uma nova forma de reutilização do material utilizado. Portanto verificou-se que as propriedades das misturas asfálticas são afetadas positivamente. Além disso, dentre as misturas estudadas a que apresentou um resultado mais satisfatório foi a M4: CBUQ com 0,5% de flocos de PET de 10 mm, reduzindo as trincas no pavimento em 73%.

No entanto não foi possível analisar a viabilidade econômica da tecnologia, por se tratar de um assunto novo e pouco explorado, também, apontam-se alguns assuntos que podem ser estudados para melhorar o entendimento do material e assim, incentivar a sua utilização, tais como: Viabilidade técnica-econômica; Inserção de outros tipos de materiais plásticos em diferentes ligantes asfálticos, como o CAP 50/70; Realização de trechos experimentais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arao, M. *Avaliação do Comportamento Mecânico de Misturas Asfálticas com a Inserção de Polietileno Tereftalato (PET) Triturado*. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, p.01-114, 2016.
- Bernucci, L. B. *et al. Pavimentação asfáltica: Formação Básica para Engenheiros*. PETROBRAS/ABEDA, Rio de Janeiro, p.01-109, 2008.
- Department Of Chemical Engineering, College Of Engineering And Technology. *Economics and Viability of Plastic Road: A Review*. Journal Of Current Chemical & Pharmaceutical Sciences, Akola (m.s.), Índia, p.231-242, 2013.
- Dwivedi, A. *et al. A Survey on Cost Comparison of Sustainable Plastic Road with Regular Bitumen Road*. International Journal Of Innovative Research In Science, Engineering And Technology, Mumbai, Índia, p.1500-1507, 2017.
- Fontelles, M. J. *et al. Metodologia Da Pesquisa Científica: Diretrizes Para A Elaboração De Um Protocolo de Pesquisa*. Belém, p.01-08, 2009.
- Franco, F. A. C. P.; Motta, L. M. G. *Manual de Utilização MeDiNa*. Instituto de Pesquisas Rodoviárias: DNIT, Rio de Janeiro, p.01-65, 2018. Disponível em: < <http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/manual-de-utilizacao-medina.pdf/view> >. Acesso em: 23 ago. 2019.
- Hypeness – *A primeira estrada feita a partir de resíduos plásticos foi inaugurada nos EUA*, 2019.[Internet] Disponível em: < <https://www.hypeness.com.br/2019/04/a-primeira-estrada-feita-a-partir-de-residuos-de-plastico-foi-inaugurada-nos-eua/> > Acesso em: 10 set. 2019.
- Khoury, N.; Scott, K. *Can plastic roads curb waste epidemic?* CNN, [s.l.], 2018. Disponível em: < <https://edition.cnn.com/2018/07/02/world/macreb-ur-plastic-roads/index.html> >. Acesso em: 03 ago. 2019.
- Macreb-ur – *About Us*, 2019. [Internet] Disponível em: < <https://www.macreb-ur.com/about-us> > Acesso em: 03 ago. 2019
- Wwf - *Brasil é o 4o país do mundo que mais gera lixo plástico*, 2019. [Internet] Disponível em: < <https://www.wwf.org.br/?70222/Brasil-e-o-4-pais-do-mundo-que-mais-gera-lixo-plastico> > Acesso em: 10 set. 2019.