

Avaliação de Propriedade Física de Ligante Asfáltico Convencional com Incorporação de Resíduo Industrial

João Paulo Marçal de Souza

Graduando em Engenharia Civil, IFPB, Patos, Brasil, joao.marcal@academico.ifpb.edu.br

Jessica Duarte Ribeiro Vieira

Graduanda em Engenharia Civil, IFPB, Patos, Brasil, jessica.duarte@academico.ifpb.edu.br

Fabiana Araujo Maia

Graduanda em Engenharia Civil, IFPB, Patos, Brasil, fabiana.araujo@academico.ifpb.edu.br

Mayara Silva Siqueira

Graduanda em Engenharia Civil, IFPB, Patos, Brasil, mayara.siqueira@academico.ifpb.edu.br

Diego de Paiva Bezerra

Professor orientador, IFPB, Patos, Brasil, diego.paiva@ifpb.edu.br

RESUMO: A qualidade das rodovias é uma prioridade no setor da Infraestrutura de Transportes, que visa torná-las mais seguras e duráveis. Inovações, pesquisas recentes estudam a utilização de resíduos industriais para modificar o Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP), observando melhorias no desempenho da camada de revestimento dos pavimentos. Esse procedimento busca reduzir a formação de defeitos causados pelo atrito entre pneus e o revestimento e prevenir fissuras devido às variações de temperatura. Sendo assim, o presente trabalho tem como objetivo avaliar as propriedades adesivas do ligante asfáltico modificado com resíduos poliméricos da indústria calçadista (Etileno Acetato de Vinila - EVA). A coleta do resíduo de EVA se deu em uma indústria calçadista do município de Santa Rita, na Paraíba. O programa experimental foi dividido em duas etapas: i) Coleta dos materiais; ii) Realização da incorporação dos resíduos poliméricos de EVA no CAP 50/70 e ensaios de caracterização das misturas. Com os resultados foi possível verificar que o ligante modificado apresentou maior viscosidade se comparado com o ligante convencional, os quais possibilitaram uma melhoria nas propriedades físicas de homogeneidade e adesividade agregado-ligante em relação à mistura de referência. Ressalta-se que a incorporação de resíduos poliméricos na pavimentação asfáltica possui potencial para aprimorar o desempenho do revestimento, gerando economia de custos, melhor desempenho e contribui com a redução de resíduos industriais que são descartados sem política de gerenciamento.

PALAVRAS-CHAVE: Ligante Asfáltico Modificado, Misturas Asfálticas, Etileno Acetato de Vinila, Adesividade.

ABSTRACT: The quality of highways is a priority in the Transport Infrastructure sector, which aims to make them safer and more durable. Innovations, recent research studies the use of industrial waste to modify Petroleum Asphalt Cement (CAP), observing improvements in the performance of the pavement coating layer. This procedure seeks to reduce the formation of defects caused by friction between tires and the coating and prevent cracks due to temperature variations. Therefore, the present work aims to evaluate the adhesive properties of asphalt binder modified with polymeric waste from the footwear industry (Ethylene Vinyl Acetate - EVA). The collection of EVA waste took place in a footwear industry in the municipality of Santa Rita, in Paraíba. The experimental program was divided into two stages: i) Collection of materials; ii) Carrying out the incorporation of EVA polymeric waste into CAP 50/70 and characterization tests of the mixtures. With the results it was possible to verify that the modified binder presented higher viscosity compared to the conventional binder, which allowed an improvement in the physical properties of homogeneity and aggregate-binder adhesion in relation to the reference mixture. It is noteworthy that the incorporation of polymeric waste into asphalt paving has the potential to improve the performance of the coating, generating cost savings, better

performance and contributing to the reduction of industrial waste that is discarded without a management policy.

KEYWORDS: Modified Asphalt Binder, Asphalt Mixtures, Ethylene Vinyl Acetate, Adhesiveness.

1 INTRODUÇÃO

A indústria calçadista gera resíduos poliméricos provenientes da borracha elastomérica e termoplástica do Etileno Acetato de Vinila (EVA) durante a fabricação de calçados. Esses resíduos têm a possibilidade de serem reintegrados ao processo de fabricação calçadista, no entanto, devido ao seu volume substancial, o processo de reaproveitamento demanda precauções específicas, como evitar retalhos com excesso de silicone e eliminar quaisquer gases presentes no material. Como resultado, apenas aproximadamente 40% do volume total de resíduos é efetivamente reutilizado, destacando a importância de encontrar maneiras de destino ambientalmente corretas para os resíduos gerados pela atividade industrial (Bacarini, 2019).

Vale destacar que o processo de incineração como estratégia de descarte não é aconselhável devido a produção de substâncias prejudiciais ao meio ambiente, tais como sulfatos, monóxido de carbono e dióxido de carbono. Sob esse viés, a incineração de resíduos sólidos enfrenta um considerável desafio associado à emissão de Poluentes Orgânicos Persistentes (POPs). Esse método revela dois aspectos críticos, a saber: i) a liberação de gases provenientes da combustão dos resíduos; e ii) a destinação das cinzas produzidas, assim como das partículas retidas (Gama, 2013).

Nessa perspectiva, Garcia *et al.* (2019) destacaram que a prática de reciclagem diminui a necessidade de recursos naturais não renováveis, que estão se tornando cada vez mais escassos. Além disso, contribui para a redução da quantidade de resíduos descartados no meio ambiente. A reutilização de materiais granulares reciclados (MGR) apresenta pegadas de carbono substancialmente inferiores quando comparada aos materiais convencionais extraídos, resultando, por conseguinte, em um ambiente mais sustentável (Alecrim; Branco, 2019).

A reutilização de resíduos na formulação de novos materiais de construção representa uma tendência global. De maneira geral, nota-se uma carência, tanto em quantidade quanto em qualidade, de materiais convencionais empregados nas diversas camadas que constituem os pavimentos. Isso impulsiona a necessidade de explorar novas alternativas para a composição desses materiais. Nessa perspectiva, diversos estudos laboratoriais têm evidenciado que a reutilização de resíduos pode ser uma abordagem eficaz para aprimorar as propriedades mecânicas e físicas dos ligantes asfálticos, viabilizando sua aplicação no setor rodoviário (Arao, 2016; Dorneles, 2018; Escobar, 2019; Lima; Teixeira; Aires, 2022).

Os Cimentos Asfálticos de Petróleo (CAP) convencionais atendem de maneira satisfatória a maioria das exigências para as quais são destinados, exibindo um comportamento e desempenho apropriados. No entanto, quando sujeitos a temperaturas elevadas de serviço, esses ligantes podem experimentar deformações. Fatores como as condições e o tipo de veículo, o volume de tráfego e as variações térmicas se convertem em agentes prejudiciais à vida útil dos pavimentos asfálticos, resultando em problemas funcionais e estruturais em suas camadas estruturantes. Adicionalmente, à medida que a velocidade e a circulação de veículos aumentam, a propensão para o aumento dessas deformações também se intensifica (Maia; Alecrim; Branco, 2019).

Nessa perspectiva, a incorporação de novos materiais no ligante asfáltico visa torná-lo um material mais resistente aos esforços, o que implica sofrer menos deformações plásticas, e ao mesmo tempo, mais flexível ao aliviar esses esforços, ou seja, demonstrar maior recuperação elástica. Outros objetivos na modificação do CAP incluem: i) aumentar a coesão do material; ii) reduzir a suscetibilidade térmica; iii) diminuir a viscosidade à temperatura de aplicação; iv) resultar em CAP de baixa fluência; v) proporcionar alta resistência à deformação plástica, fissuração e fadiga; e vi) garantir boa adesividade e aprimorar a resistência ao envelhecimento (Balbo, 2007).

Dessa forma, tendo em vista que a reutilização de resíduos poliméricos como materiais incorporados na pavimentação asfáltica é de grande importância, este estudo visa comparar o desempenho do EVA, que compartilha a mesma matéria-prima, analisando a influência da adição de resíduos de EVA descartados pela indústria calçadista nas propriedades adesivas de agregados graúdos com ligante asfáltico convencional e modificado. Assim, pretende-se contribuir ainda mais com os estudos na área da pavimentação, com intuito

de proporcionar um destino ambientalmente adequado aos rejeitos e promover uma alternativa de reutilização deste resíduo industrial, bem como analisar os efeitos e as características promovidas ao ligante modificado.

2 METODOLOGIA

O programa experimental foi dividido em duas etapas distintas de acordo com a natureza e o volume das atividades planejadas. O fluxograma abaixo (Figura 1) exemplifica a sequência metodológica de execução desta investigação.

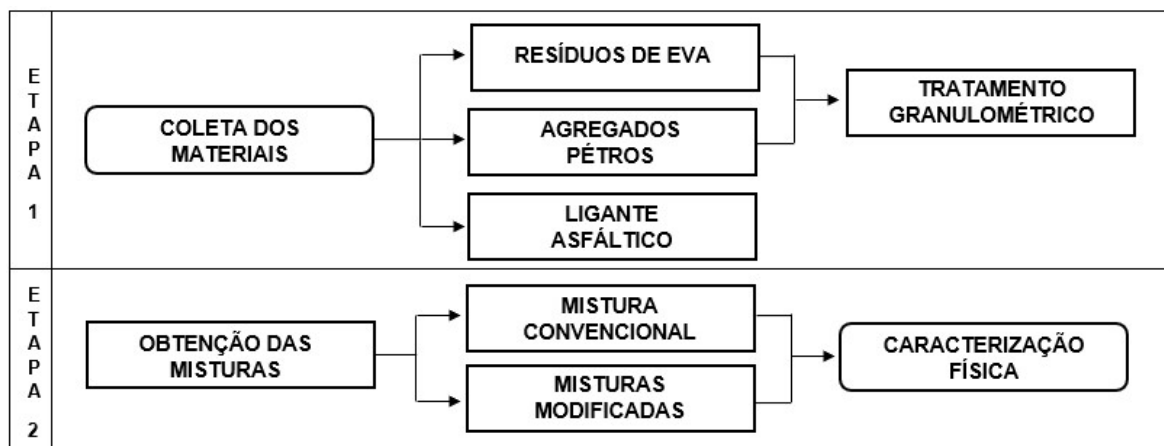


Figura 1. Programa de execução das etapas metodológicas da pesquisa.

Nas seções abaixo são descritos os procedimentos adotados pelo programa metodológico do estudo para coleta dos materiais da pesquisa (Item 2.1) e para obtenção das misturas (Item 2.2).

2.1 Etapa 1: Coleta de materiais

Os materiais utilizados nesta pesquisa foram: Cimento asfáltico de Petróleo (CAP) convencional 50/70 e materiais granulares, como o agregado graúdo e o resíduo do copolímero do EVA. O agregado graúdo do estudo foi obtido na Pedreira Cordeiro, em Patos, Paraíba. Trata-se da brita de classificação 0, um material proveniente da britagem da rocha magmática basáltica, com variações de 4,8 – 9,5 mm. Já o ligante asfáltico utilizado foi o Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP) convencional, o CAP 50/70, disponibilizado pela CBAA Asfaltos LTDA, em parceria com a usina da construtora Niemaia, em Patos, Paraíba. A Tabela 1 apresenta as principais propriedades dos materiais utilizados no estudo.

Tabela 1. Propriedades dos materiais utilizados no estudo.

Material	Característica obtida		Análise em campo
Agregado	Abrasão Los Angeles (%)	9,47	DNIT 031/2006 – ES
	Índice de forma	2,1	
	Massa específica (g/cm ³)	2,51	
	Absorção (%)	0,49	
Ligante asfáltico	Penetração (0,1 mm)	60	DNIT 095/2006 - EM
	Viscosidade de 135°C a 177°C (s)	203 - 32	
	Ponto de amolecimento (°C)	49	
	Ponto de fulgor	300	

A coleta do resíduo de EVA se deu em uma indústria calçadista do município de Santa Rita, na Paraíba. O copolímero residual de EVA produzido pela indústria calçadista é composto por uma parte grossa e outra parte fina, na pesquisa foi utilizado apenas os resíduos da fração fina para incorporação no ligante asfáltico.

Para incorporação nas misturas, os materiais residuais e pétreos foram tratados granulometricamente, por meio do ensaio de Peneiramento (DNIT 412/2019 - ME).

2.2 Etapa 2: Obtenção das misturas

Inicialmente, foram definidas as porcentagens de incorporação do resíduo do copolímero de EVA (RCEVA). As porcentagens utilizadas para incorporação foram definidas conforme a literatura vigente. De acordo com Balbo (2007), a incorporação de resíduos acima de 4% torna a mistura de difícil trabalhabilidade. Nessa perspectiva, as misturas propostas para análise compreenderam quatro misturas, sendo uma mistura de referência (sem modificação do CAP) e três misturas modificadas.

Foram realizadas as misturas (Ligante asfáltico CAP 50/70 + resíduo de EVA) conforme teor especificado a seguir: CAPM1: CAP 50/70 + (0% RCEVA); CAPM2: CAP 50/70 + (1% RCEVA); CAPM3: CAP 50/70 + (2% RCEVA); CAPM4: CAP 50/70 + (3% RCEVA), produzidos em laboratório por via úmida.

A homogeneização da mistura ocorreu segundo uma temperatura de 150°C. A definição amostral consiste das análises de fator de temperatura (150°C), fator dos teores de resíduos (1%, 2% e 3%) e o fator tempo de 60 min para amostras até 5% de incorporação em massa do RCEVA, conforme o estudo de Rios, Barbosa Sobrinho & Morais (2014).

Para a análise dos resultados, foram utilizados métodos de ensaio de acordo com as normativas apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2. Identificação dos ensaios realizados e normas consultadas.

Ensaio	Especificação
Agregado graúdo - Adesividade ao ligante betuminoso	DNER-ME 078/94
Agregado - Adesividade ao ligante betuminoso	DNER-ME 079/94

Na seção abaixo são apresentados os resultados e análises obtidos a partir do programa metodológico proposto.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na análise granulométrica, as amostras foram submetidas ao ensaio de granulometria por peneiramento mecânico, conforme as especificações da norma DNIT 412/2019 - ME, para identificar a distribuição das partículas dos agregados que compõem a amostra, como mostra na Figura 2 a seguir.

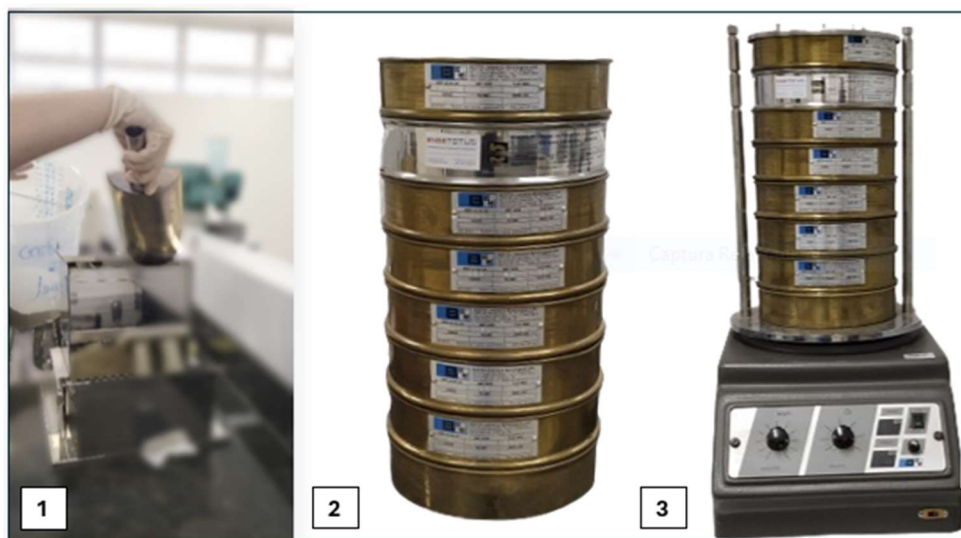


Figura 2. Curva granulométrica dos resíduos de EVA. (1) Quarteamento da amostra do agregado EVA; (2) Seleção do conjunto de peneiras; (3) Peneiramento mecânico da amostra.

Após o peneiramento manual foi construída a tabela de análise granulométrica dos agregados, como mostra a Tabela 3 a seguir.

Tabela 3. Composição granulométrica do resíduo do EVA e do agregado graúdo.

Peneiras	Abertura peneiras (mm)	Resíduos de EVA		Brita 0	
		Massa retida (g)	% Passante	Massa retida (g)	% Passante
3/4"	19	0	100	0	100
1/2"	12,5	0	100	0	100
3/8"	9,5	0	100	105,6	89,43
1/4"	6,3	0	100	413,485	48,03
#4	4,75	0	100	299,565	18,04
#10	2	0	100	149,285	3,10
#40	0,425	383,975	23,06	22,645	0,83
#80	0,18	48,865	13,27	3,195	0,51
#200	0,075	61,865	0,87	2,015	0,31
Fundo	-	4,365	0	3,075	0
Total	-	500,00	-	1.000,00	-

Com as porcentagens que passam em cada peneira e seus respectivos diâmetros, foram criadas as Curvas Granulométricas dos agregados dos resíduos EVA e da Brita 0. Podemos observar que a amostra EVA ficou retida após a peneira #10, ficando na faixa correspondente a agregado miúdo, uma fração fina do resíduo que foi incorporado ao ligante asfáltico. Sobre a brita 0, podemos observar que o material ficou retido a partir da peneira #12,5, sendo considerado um agregado graúdo, como mostra a Figura 3.

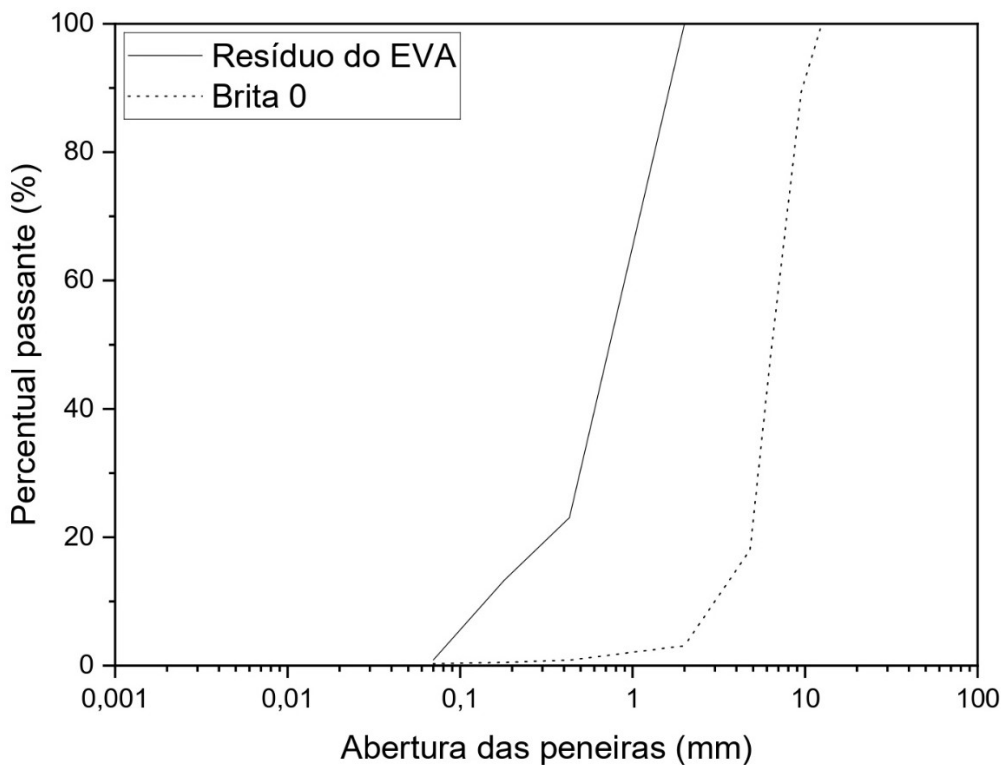


Figura 3. Curva granulométrica dos resíduos de EVA.

O ensaio de adesividade agregado-ligante verifica, qualitativamente, a adesividade do ligante ao agregado graúdo, inferindo assim, sobre a resistência à fratura adesiva de misturas asfálticas. Para este ensaio, foram incorporados os dois agregados ao CAP 50/70, conforme mostra a Figura 4.

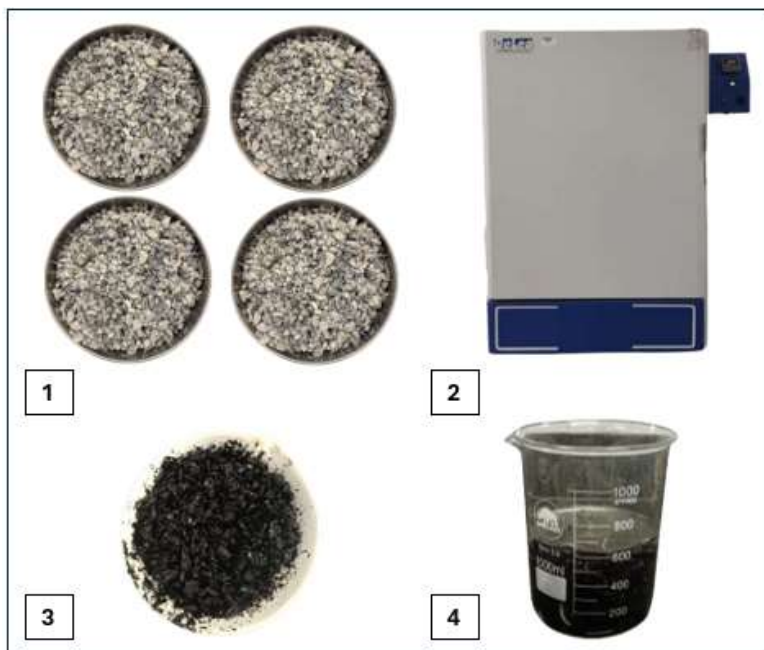


Figura 4. Sequência do ensaio de Adesividade do ligante asfáltico no agregado graúdo. (1) Agregado graúdo; (2) Agregado 2h na estufa a 120°C; (3) Mistura CAP + agregado graúdo; (4) Mistura após 72h em água destilada na estufa à 40°C.

No momento da incorporação do resíduo EVA no ligante asfáltico foi possível observar que à medida que aumentava a porcentagem do resíduo EVA, se mostrava cada vez mais rígida no momento da mistura. Ao completar o tempo de reserva das amostras, o material foi retirado do becker e espalhado em uma placa cerâmica. Pode-se observar que o ligante asfáltico aderiu 100% a superfície do agregado, como mostra a Figura 5.

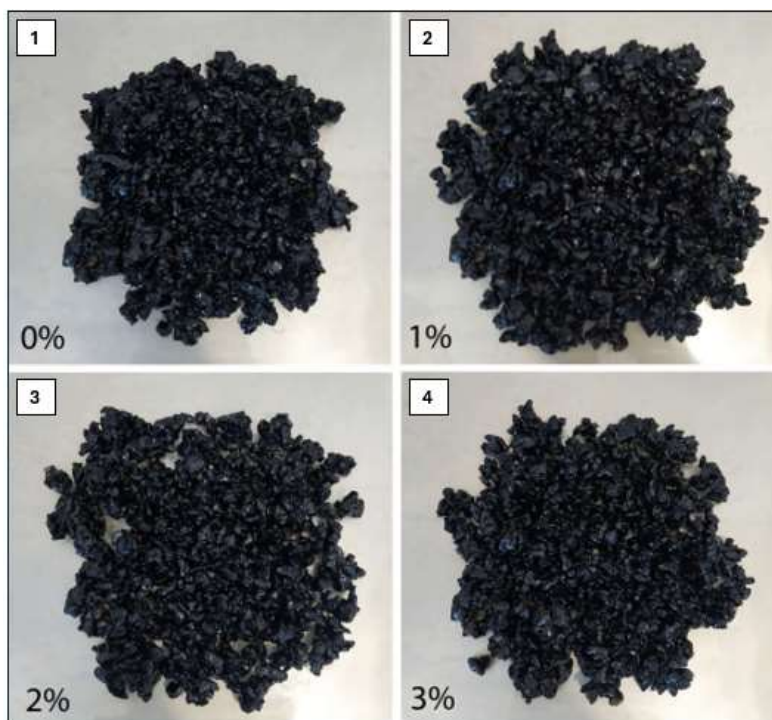


Figura 5. Mistura final na placa cerâmica – (1) Amostra com 0% de resíduo do EVA; (2) Amostra com 1% de resíduo do EVA; (3) Amostra com 2% de resíduo do EVA; e (4) Amostra com 3% de resíduo do EVA.

Na análise dos resultados, observou-se que a incorporação dos resíduos de EVA (fração fina) influenciou positivamente as propriedades físicas de homogeneidade e adesividade entre o agregado e o ligante asfáltico. Verificou-se uma melhoria significativa na adesividade do ligante à brita, conforme demonstrado no ensaio específico realizado. Esse resultado indica que a incorporação dos resíduos de EVA contribuiu para a formação de uma mistura mais homogênea e coesa, o que pode resultar em benefícios para a durabilidade e desempenho da camada asfáltica, além de indicar um potencial uso sustentável desses resíduos na construção de pavimentos.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após a realização deste estudo, foi possível concluir que a incorporação do ligante asfáltico com resíduos poliméricos do EVA apresenta potencial para melhorar as propriedades adesivas do ligante. Os resultados do ensaio de adesividade demonstraram uma aderência satisfatória entre o ligante modificado e o agregado, indicando que a incorporação do EVA pode contribuir para a durabilidade e desempenho de pavimentos asfálticos.

Embora os resultados obtidos pelo estudo tenham sido satisfatórios a partir da análise normativa proposta, vale destacar que estes se aplicam as condições estabelecidas no programa metodológico e que os resultados podem ser diferentes, quando utilizados materiais de outras origens litológicas. Para tanto, sugere-se que outras pesquisas sejam realizadas para investigar mais detalhadamente os efeitos da modificação do ligante com diferentes porcentagens de resíduos do EVA, bem como para avaliar outras propriedades físicas e seu desempenho em campo. Além disso, estudos sobre a viabilidade econômica e ambiental da utilização dessas misturas também são recomendados.

Em resumo, este estudo contribui para o avanço do conhecimento sobre a utilização de resíduos poliméricos na indústria da pavimentação asfáltica, mostrando novas possibilidades no desenvolvimento de tecnologias e práticas mais sustentáveis na construção de pavimentos flexíveis.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) para realização da pesquisa e pagamento das bolsas do discente, por meio do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação – PIBITI/CNPq - edital n° 28/2023. À Diretoria de Pesquisa do Instituto Federal da Paraíba (IFPB), à Coordenação de Pesquisa do IFPB - *campus* Patos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alecrim, C. M. C., Branco, V. T. F. C. (2019) Avaliação da incorporação de asfalto reciclado em camada porosa de atrito. In: Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes da ANPET, Balneário Camboriú. *Anais...* ANPET, v. 33, p. 1837-1840. Disponível: <https://www.anpet.org.br/anais/documentos/2019/Infraestrutura/Materiais%20e%20Tecnologias%20Ambientais%20II/1_487_RT.pdf>. Acesso em: 25 mar. 2024.
- Arao, M. (2016) *Avaliação do Comportamento Mecânico de Misturas Asfálticas com a inserção de Polietileno Tereftalato (PET) Triturado*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, PUC-Rio, 114 p.
- Bacarini, A. (2019) *Aproveitamento de resíduos de EPS e EVA como agregados em concreto leve*. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, UTFPR, 42 p.
- Balbo, J. T. (2007) *Pavimentação asfáltica - materiais, projeto e restauração*, Oficina de Textos, São Paulo, 558 p.
- Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (2006). DNIT 031/2006 – ES. *Pavimentos flexíveis - Concreto asfáltico - Especificação de serviço*. Rio de Janeiro.

- Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (2006). DNIT 095/2006 – EM. *Cimentos asfálticos de petróleo - Especificação de material*. Rio de Janeiro.
- Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (2019). DNIT 412/2019 – ME. *Pavimentação - Misturas asfálticas – Análise granulométrica de agregados graúdos e miúdos e misturas de agregados por peneiramento – Método de ensaio*. Rio de Janeiro.
- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (1994). DNER-ME 078/1994. *Agregado graúdo - adesividade a ligante betuminoso*. Rio de Janeiro.
- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (1994). DNER-ME 079/1994. *Agregado - Adesividade a ligante betuminoso*. Rio de Janeiro.
- Dorneles, F. F. (2018) *Viabilidade técnica da produção de ligante modificado com borracha de pneus inservíveis pelo processo úmido (wet process) através do sistema não estocável (contínuo bleeding), para concreto asfáltico*. Dissertação de mestrado, Programa de Pós-Graduação em Gerenciamento de Resíduos, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, UNISINOS, 100 p.
- Escobar, V. C. (2019) *Comparação de desempenho de mistura SMA efetuada com asfalto modificado por borracha utilizando agregados do município de Alegrete e concreto asfáltico*. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Pampa, UFP, 63 p.
- Gama, D. A. (2013) *Avaliação do potencial do uso do etileno acetato de vinila (EVA) descartado pela indústria calçadista em misturas asfálticas*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, 130 p.
- Garcia, E. S. H., Kolodziej, V. M., Thives, L. P., Trichês, G. (2019) Análise do desempenho de misturas asfálticas drenantes utilizando ligantes asfálticos modificados. In: 33º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte da ANPET, Balneário Camboriú. *Anais... ANPET*. v. 33, p. 1598-1607. Disponível em: https://www.anpet.org.br/anais/documentos/2019/Infraestrutura/Ligantes%20e%20Misturas%20Asf%20%C3%A1lticas%20I/4_297_AC.pdf. Acesso em: 10 mar. 2024.
- Lima, H. A. A. de, Teixeira, B. R. dos R., Aires, R. M. da S. (2022). Misturas asfálticas quentes modificadas por adição de borracha de pneu. *Revista da FAESF*, 6 (1), p. 44-68.
- Maia, R. S., Alecrim, C. M. C., Branco, V. T. F. C. (2019). Utilização de revestimentos drenantes do tipo camada porosa de atrito (CPA) e de asfalto modificado por polímero (AMP) como soluções para o meio urbano em Fortaleza-CE. In: Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte da ANPET, Balneário Camboriú. *Anais... ANPET*, v. 33, p. 1-12. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/341065352_UTILIZACAO_DE_REVESTIMENTOS_DRENANTES_DO_TIPO_CAMADA_POROSA_DE_ATRITO_CPA_E_DE_ASFALTO_MODIFICADO_POR_POLIMERO_AMP_COMO_SOLUCOES_PARA_O_MEIO_URBANO_EM_FORTALEZA-CE. Acesso em: 10 mar. 2024.
- Rios, F. R. de A., Barbosa Sobrinho, A. A., Morais, C. S. R. (2014) Análise térmica de asfalto do petróleo, modificado com resíduos polimérico. *RUnPetro*, 2 (2), p. 45-57.