

Análise das propriedades funcionais de misturas asfálticas do tipo camada porosa de atrito (CPA) modificadas pelo resíduo do etileno acetato de vinila (EVA)

Analysis of the functional properties of porous friction layer (PFL) asphalt mixtures modified with ethylene vinyl acetate (EVA) waste

Análisis de las propiedades funcionales de las mezclas asfálticas de capa de fricción porosa (CFP) modificadas con residuos de etilvinilacetato (EVA)

Mayara Silva Siqueira¹
João Paulo Marçal de Souza²
Diego de Paiva Bezerra³

Resumo: O estudo teve como objetivo avaliar o desempenho de misturas asfálticas CPA modificadas com resíduo do EVA, buscando responder se o material poderia melhorar as propriedades funcionais das misturas asfálticas. A metodologia se baseou no estudo bibliográfico, coleta dos materiais e os ensaios laboratoriais nas amostras produzidas, sendo eles: i) volume de vazios; ii) volume de vazios comunicantes; iii) resistência à tração por compressão diametral; e iv) desgaste cântabro. Os resultados mostraram que a mistura CPA03, com 3% de EVA, apresentou uma resistência à tração de 1,28 MPa, volume de vazios de 18,10% e coeficiente de permeabilidade de 0,18 cm/s, mantendo-se nos parâmetros normativos. Além disso, o uso de EVA reduziu o desgaste por abrasão em 0,16% em relação à mistura de referência. Conclui-se que o EVA melhora o desempenho das misturas, promove a sustentabilidade e contribui para a economia circular.

Palavras-chave: Sustentabilidade. Pavimentos drenantes. Resíduo do EVA. Economia circular. Propriedades mecânicas.

Abstract: The aim of the study was to evaluate the performance of CPA asphalt mixtures modified with EVA residue, in order to determine whether the material could improve the functional properties of asphalt mixtures. The methodology was based on a bibliographical study, collection of materials and laboratory tests on the samples produced: i) volume of voids; ii) volume of communicating voids; iii) tensile strength by diametrical compression; and iv) wear and tear. The results showed that the CPA03 mix, with 3% EVA, had a tensile strength of 1.28 MPa, a volume of voids of 18.10% and a permeability coefficient of 0.18 cm/s, all within the normative parameters. In addition, the use of EVA reduced abrasive wear by 0.16% compared to the reference mix. It can be concluded that EVA improves the performance of mixtures, promotes sustainability and contributes to the circular economy.

Keywords: Sustainability. Drainage paving. EVA waste. Circular economy. Mechanical properties.

¹ Bacharelanda em Engenharia Civil. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB). ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-0555-8875>. E-mail: mayara.siqueira@academico.ifpb.edu.br.

² Mestrando em Engenharia Civil. Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4157-3692>. E-mail: joao.marcal@ufpe.br.

³ Doutorando em Engenharia Civil e Ambiental. Professor do Curso de Bacharelado em Engenharia Civil do IFPB – campus Patos. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0637-5175>. E-mail: diego.paiva@ifpb.edu.br.

Resumen: El objetivo del estudio era evaluar el comportamiento de las mezclas asfálticas CPA modificadas con residuos de EVA, con el fin de determinar si el material podía mejorar las propiedades funcionales de las mezclas asfálticas. La metodología se basó en un estudio bibliográfico, recogida de materiales y ensayos de laboratorio sobre las muestras producidas: i) volumen de huecos; ii) volumen de huecos comunicantes; iii) resistencia a la tracción por compresión diametral; y iv) desgaste cantabile. Los resultados mostraron que la mezcla CPA03, con un 3% de EVA, tenía una resistencia a la tracción de 1,28 MPa, un volumen de huecos del 18,10% y un coeficiente de permeabilidad de 0,18 cm/s, manteniéndose dentro de los parámetros normativos. Además, el uso de EVA redujo el desgaste abrasivo en un 0,16% en comparación con la mezcla de referencia. Se puede concluir que el EVA mejora el rendimiento de las mezclas, promueve la sostenibilidad y contribuye a la economía circular.

Palabras-clave: Sostenibilidad. Pavimentos drenantes. Residuos de EVA. Economía circular. Propiedades mecánicas.

Submetido 31/01/2025

Aceito 21/07/2025

Publicado 04/08/2025

Considerações iniciais

O crescimento industrial e a expansão desenfreada das cidades, influenciados por fatores histórico-culturais e socioeconômicos, resultaram em um aumento significativo do uso e ocupação do solo. Nesse contexto, espaços rurais e áreas verdes foram progressivamente substituídos por construções, calçadas, ruas e pavimentos asfálticos, promovendo a impermeabilização do solo. Essa variação do uso do solo gerou impactos significativos no ciclo hidrológico, reduzindo a infiltração natural da água da chuva, fundamental para o reabastecimento dos lençóis freáticos. Como consequência, os leitos de rios e canais tendem a sofrer alterações significativas, intensificando problemas como a formação de ilhas de calor, enchentes e até inundações (Oyalowo, 2022).

Essa problemática é agravada pelo fato de que muitos centros urbanos, especialmente nos países em desenvolvimento, foram construídos sem o devido planejamento para atender às demandas sociais. A ausência de infraestrutura adequada, em particular a deficiência de sistemas de drenagem eficientes, tem contribuído para a intensificação de eventos extremos de alagamentos e enchentes. Essas falhas estruturais colocam em evidência a necessidade de soluções urbanas que equilibrem o desenvolvimento econômico e a sustentabilidade ambiental (Cousins; Hill, 2021).

Devido à carência de planejamento e às falhas na infraestrutura, várias regiões ao redor do mundo enfrentam tragédias climáticas, muitas vezes exacerbadas pelas condições meteorológicas extremas. No Brasil, um exemplo marcante ocorreu no primeiro semestre de 2024, no estado do Rio Grande do Sul, onde chuvas intensas superaram os recordes históricos da região Sul do país. Segundo dados de Henkes (2024), mais de dois milhões de pessoas foram afetadas diretamente pelos impactos das enchentes, em um cenário que revelou a fragilidade da infraestrutura urbana e a urgência de ações mitigadoras.

Diante desse contexto, diversas nações têm adotado estratégias compensatórias para mitigar os problemas associados à drenagem urbana inadequada. Entre essas iniciativas, destaca-se o conceito de cidades-esponjas, que são espaços urbanos planejados para integrar soluções sustentáveis ao meio ambiente. Essas cidades buscam reter e absorver a água da chuva por meio de estruturas como bacias de retenção, áreas verdes alagáveis, telhados ecológicos, trincheiras de infiltração e pavimentos permeáveis. Além de promoverem a sustentabilidade, essas medidas ajudam a minimizar os impactos das enchentes e a melhorar a gestão dos recursos

hídricos nas áreas urbanas (Fogei, 2019).

Entre as soluções de drenagem urbana sustentável, o uso de pavimentos permeáveis, especialmente o concreto asfáltico drenante, merece destaque. No Brasil, essa tecnologia é conhecida como Camada Porosa de Atrito (CPA). A CPA consiste em uma camada de revestimento asfáltico com elevada porosidade, aplicada sobre estruturas pavimentadas regulares, com o objetivo de drenar a água superficial de maneira eficiente durante chuvas intensas, aumentar a segurança viária ao melhorar a aderência pneu-pavimento e reduzir os níveis de ruído causados pelo rolamento dos veículos. Apesar de sua eficácia como solução drenante, a CPA enfrenta desafios técnicos relacionados à resistência mecânica, como o desgaste prematuro e a movimentação do ligante asfáltico em sua estrutura porosa (Balbo, 2007; Bernucci *et al.*, 2022).

Para superar essas limitações e aprimorar o desempenho mecânico dos pavimentos asfálticos, pesquisadores têm explorado a incorporação de novos materiais nas misturas asfálticas. Entre os materiais investigados estão o politereftalato de etileno (PET), resíduos de construção e demolição, poliuretanos, elastômeros e diversos polímeros recicláveis (Melo; Ferreira; Rodrigues, 2021; Pimentel, 2021; Silva; Andrade, 2022; Tosin; Pereira, 2024). Essas pesquisas têm demonstrado que a utilização desses materiais, tanto em processos de mistura seca quanto úmida, pode melhorar propriedades como a durabilidade, a resistência ao desgaste e a estabilidade estrutural. Além disso, a incorporação de aditivos obtidos de resíduos sólidos representa uma solução ambientalmente viável, ao reaproveitar materiais que poderiam se tornar poluentes. Entre essas alternativas, o resíduo industrial de Etileno Acetato de Vinila (EVA) tem ganhado relevância por seu potencial de aplicação em pavimentos (Gama, 2013; Santana, 2021; Guimarães *et al.*, 2022; Fontoura, 2023).

Conforme descrito por Gama (2013), o EVA, com teor de acetato de vinila entre 18% e 28%, é amplamente utilizado na indústria de calçados. Durante sua produção, cerca de 20% do material gerado torna-se resíduo, resultando, apenas no Brasil, em aproximadamente 7.932 toneladas descartadas anualmente em aterros ou lixões (Reis; Fernandes, 2021). Esse cenário reflete não apenas uma perda econômica, mas também um desafio ambiental significativo. Assim, o reaproveitamento desse resíduo para aplicações como pavimentos asfálticos surge como uma alternativa promissora para reduzir os impactos ambientais e agregar valor ao setor da construção civil.

Nesse contexto, esta pesquisa analisa as propriedades funcionais de concretos asfálticos do tipo Camada Porosa de Atrito (CPA) modificados com resíduo industrial de Etileno Acetato de Vinila (EVA). O estudo visou promover soluções sustentáveis em pavimentação urbana, incentivando o uso de materiais reciclados e reduzindo problemas de drenagem urbana.

Metodologia

Este estudo trata-se de uma pesquisa experimental pautado na abordagem quantitativa com caráter descritivo e explicativo, segundo seus objetivos. Para tanto, os procedimentos metodológicos do estudo foram divididos em três etapas distintas, as quais compreenderam estudo bibliográfico, coleta e caracterização dos materiais do estudo e ensaios laboratoriais.

Estudo bibliográfico

A primeira etapa da pesquisa foi dedicada aos levantamentos bibliográficos e a revisão bibliométrica, com o objetivo de compilar fontes relevantes sobre pavimentação asfáltica, uso de resíduos em misturas asfálticas drenantes e normas técnicas aplicáveis. A revisão bibliométrica é uma técnica de avaliação quantitativa da produção acadêmica, que possibilita reconhecer padrões, tendências e relações entre artigos relacionados a um tema específico. Por meio do uso de bases de dados indexadas e ferramentas especializadas, essa metodologia permite traçar a progressão do conhecimento, identificar os autores mais influentes, os principais jornais acadêmicos e as redes de cooperação, além de ajudar a entender o impacto e as lacunas presentes na pesquisa (Serra *et al.*, 2018).

Para estruturar a revisão bibliométrica, adotaram-se como referência os estudos de Zupic e Cater (2014) e Serra *et al.* (2018), que fornecem diretrizes para a análise e mapeamento da produção científica. Para a realização da revisão bibliométrica, foi selecionada a base de dados Scopus, devido à sua ampla cobertura de publicações científicas de alto impacto e à compatibilidade com o software VOSviewer, ferramenta utilizada na análise e visualização das redes de coautoria, cocitação e ocorrência de palavras-chave. Embora a Web of Science também seja aceita pelo software, a busca nessa base não resultou em estudos que atendessem aos critérios de seleção estabelecidos, o que levou à sua exclusão do processo. Dessa forma, a escolha exclusiva da Scopus garantiu que os estudos analisados fossem relevantes e estivessem alinhados aos objetivos da pesquisa. Com isso, assegurou-se a abrangência necessária para

embasar teoricamente a investigação sobre a aplicação de resíduos em misturas asfálticas, contribuindo para a identificação de avanços, desafios e lacunas existentes na literatura científica.

A pesquisa avançada na Scopus foi realizada com o uso de descritores específicos voltados ao estudo de concretos asfálticos drenantes modificados na engenharia de pavimentos. A estratégia de busca adotada incluiu os termos: “modified asphalt” and “modified asphalt concrete” or “cement replacement” or recycle or sustainab or “industrial waste” or “open graded asphalt”, abrangendo o período de 2000 a 2024. Inicialmente, foram identificados 479 artigos publicados em periódicos, assegurando o rigor acadêmico da seleção. Para refinar os resultados, foram aplicados filtros que consideraram apenas estudos em inglês, dentro das áreas de engenharia civil e de materiais. Além disso, realizou-se a leitura dos títulos e resumos, permitindo uma triagem inicial dos estudos mais alinhados à revisão bibliométrica. Após esse processo, a amostra foi reduzida para 272 artigos, garantindo que os trabalhos selecionados fossem diretamente relevantes ao tema investigado. Na última etapa, os artigos foram analisados integralmente, permitindo a seleção final dos estudos que comporiam a revisão bibliométrica. Como resultado, 192 artigos foram incluídos, assegurando uma base sólida para a compreensão do uso de modificadores em concretos asfálticos drenantes.

Os dados foram analisados no software VOSviewer, utilizando indicadores qualitativos e métricas de produtividade. Nesse contexto, o VOSviewer foi utilizado para a análise e visualização de redes bibliométricas, permitindo a exploração de relações entre publicações, autores e palavras-chave. A partir de bases de dados científicas, ele gerou mapas de ocorrência, identificando padrões e tendências na engenharia de pavimentos, especificamente no estudo de concretos asfálticos drenantes modificados. Com isso, foi possível compreender a estrutura e a evolução do conhecimento na área pesquisada, fornecendo subsídios para a identificação dos principais pesquisadores e trabalhos de referência.

Ao final da primeira etapa, as informações dos estudos levantados pela revisão bibliométrica foram organizadas, reunindo informações detalhadas sobre as referências levantadas na pesquisa, como autores, ano de publicação, objetivos do estudos, metodologias utilizadas, principais análises, resultados e conclusões obtidas. Esse levantamento resultou em uma base teórica sólida, que facilitou a localização e consulta das obras essenciais para o desenvolvimento do trabalho. Entre as referências que embasaram o estudo, destacam-se as

pesquisas de Oliveira (2003), Dumke (2005), Balbo (2007), Gama (2013), Dresch (2016), Schneider (2016), Martinez (2017), Jacques (2018), Ahmed *et al.* (2019), Maia *et al.* (2019), Schneider *et al.* (2019), Pouranian, Imaninasab e Shishehbor (2020), Bernucci *et al.* (2022), Davoodi *et al.* (2022), Silva *et al.* (2022), Yan *et al.* (2022), Hammes e Thives (2023) e Hong *et al.* (2023). As pesquisas desses autores, que abordam asfalto modificado, misturas asfálticas drenantes modificadas e o uso de resíduos industriais, foram fundamentais para a compreensão dos aspectos técnicos e sustentáveis discutidos neste estudo.

Caracterização dos materiais

A segunda etapa consistiu na coleta e caracterização dos materiais utilizados no estudo. Os materiais usados no estudo foram: resíduo de EVA (REVA), agregado graúdo, agregado miúdo, Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP 50/70) e material de enchimento. O REVA foi fornecido por uma indústria calçadista em Santa Rita, Paraíba, composto por frações grossa e fina. Para a pesquisa, utilizou-se a fração fina, obtida por peneiramento conforme o ensaio DNIT-ME 412/2019. Os agregados, brita 0 e pó de pedra, foram adquiridos em comércios de Patos, Paraíba.

As demais análises realizadas nos materiais da pesquisa, atendendo aos critérios estabelecidos pelo Departamento de Transportes do Brasil (DNER-ES 386/99 e DNIT 031/2006 – ES), seguem as especificações técnicas descritas em normas aplicáveis (Tabela 1).

Tabela 1 – Análises realizadas nos materiais da pesquisa

ANÁLISES	NORMAS	LIMITES	RESULTADOS
Índice de forma	DNIT 425	$\geq 0,5$	1,04
Abrasão Los Angeles	DNER 035	$\leq 50,00\%$	9,47%
Equivalente de Areia	DNER 054	$\geq 55,00\%$	66,00%
Viscosidade Saybolt Furol (135°C)	NBR 14950	≥ 141 s	203 – 230 s
Viscosidade Saybolt Furol (150°C)		≥ 50 s	130 – 150 s
Viscosidade Saybolt Furol (175°C)		30 – 150 s	32 – 39 s
Penetração	DNIT 155	60 - 75	60 – 105 0,1mm
Ponto de fulgor	DNER 148; NBR 11341	≥ 235 °C	285 – 300 °C
Amolecimento	DNIT 131	≥ 46 °C	46 – 49 °C
Índice de Susceptibilidade Térmica	DNIT 095	-1,50 - 0,7	-0,31 - -1,02

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Conforme demonstrado pela Tabela 1, todas as análises solicitadas pelo departamento de transportes realizados nos materiais da pesquisa foram atendidas para composição das misturas asfálticas drenantes.

Ensaio laboratoriais

Por fim, a terceira etapa compreendeu a moldagem e os ensaios nas misturas asfálticas drenantes elaboradas pelo estudo. A composição granulométrica adotada pelo estudo foi baseada nas pesquisas de Oliveira (2003) e Schneider (2016). As quantidades empregadas na dosagem pelo Método Marshall estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Definição do teor de asfalto

PENEIRA (mm)		TEOR DE CAP						
		3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0
		QUANTITATIVO (g)						
3/4"	19	0	0	0	0	0	0	0
1/2"	12,5	215,34	214,23	213,12	212,01	210,9	209,79	208,68
3/8"	9,5	144,34	143,59	142,85	142,1	141,36	140,62	139,87
#4	4,75	459,78	457,41	455,04	452,67	450,3	447,93	445,56
#10	2	188,57	187,6	186,62	185,65	184,68	183,71	182,74
#40	0,43	87,3	86,85	86,4	85,95	85,5	85,05	84,6
#80	0,18	20,95	20,84	20,74	20,63	20,52	20,41	20,3
#200	0,07	9,31	9,26	9,22	9,17	9,12	9,07	9,02
FUNDO		15,11	15,01	15,02	14,92	14,82	14,72	14,62
ENCHIMENTO		23,3	23,2	23,00	22,9	22,8	22,7	22,6
CAP		36,0	42,00	48,00	54,00	60,00	66,00	72,00
TOTAL (g)		1200						

Fonte: Adaptado de Schneider (2016).

Com base nos resultados obtidos nos estudos de Oliveira (2003) e Schneider (2016), o teor de asfalto foi estabelecido em 4,0%, por apresentar melhor adequação aos requisitos técnicos especificados na DNER-ES 386/99. Esse valor foi adotado como referência para todas as misturas, mantendo-se inalterado mesmo com a adição de diferentes teores de EVA, sob a premissa de que a consistência desse teor seria preservada entre os tipos de CAP modificados. Dessa forma, foram moldados os corpos de prova utilizando a metodologia Marshall, conforme

a norma DNIT 178/2018 – PRO, possibilitando a avaliação dos parâmetros fundamentais das misturas asfálticas e garantindo a verificação de suas propriedades mecânicas e de desempenho.

Para organizar a identificação das misturas avaliadas e otimizar o estudo das amostras moldadas, recorreu-se a seguinte nomenclatura: i) REF (amostra sem modificação do resíduo do EVA); ii) CPA01 (amostra com ligante asfáltico modificado com 1% do resíduo do EVA); iii) CPA02 (amostra com ligante asfáltico modificado com 2% do resíduo do EVA); iv) CPA03 (amostra com ligante asfáltico modificado com 3% do resíduo do EVA).

A influência dos percentuais incorporados no ligante asfáltico exige a análise das temperaturas de usinagem, pois impactam a trabalhabilidade, a adesão e a compactação da mistura. Para garantir conformidade técnica e bom desempenho, as temperaturas adotadas neste estudo seguiram a norma DNIT 178/2018 – PRO.

Após, foram realizados ensaios específicos para avaliar as propriedades das misturas CPA produzidas neste estudo, utilizando o ligante CAP 50/70 e o asfalto modificado com resíduo copolimérico de EVA. Esses ensaios buscaram determinar as características volumétricas, a capacidade de drenagem, a resistência mecânica e a adesividade do concreto asfáltico drenante, de acordo com as diretrizes da norma DNER-ES 386/99. Foram determinadas as seguintes propriedades: i) volume de vazios (ABNT NBR 12891/93); ii) Volume de vazios comunicantes (AFNOR NF P-98-254-2/93); iii) Resistência à tração por compressão diametral (DNIT 136/2018-ME); e iv) Desgaste cantabro (DNER-ME 383/99). Vale destacar que fora determinada também a propriedade de permeabilidade das misturas produzidas pelo estudo, haja vista a importância de se entender a condutividade hidráulica em misturas asfálticas drenantes, a qual fora determinada conforme a normativa CEN – EN 12697-19/2020.

Após a execução dos ensaios propostos, foram realizadas as análises do estudo. Assim, na seção de Análises dos Dados e Resultados, apresentam-se os dados e as devidas interpretações das etapas metodológicas.

Limitações metodológicas

Apesar do rigor metodológico e da relevância prática desta investigação, algumas limitações devem ser explicitadas para uma adequada compreensão do escopo e dos resultados obtidos. Primeiramente, ressalta-se que o resíduo de Etileno Acetato de Vinila (EVA) utilizado

neste estudo foi proveniente de uma indústria calçadista localizada no município de Santa Rita, Paraíba, já fornecido na forma triturada. A escolha por esse material, em específico, deveu-se à ausência de equipamentos próprios para o tratamento granulométrico do resíduo, especialmente trituradores industriais. Assim, a disponibilidade pré-processada do EVA representou uma solução viável frente às limitações operacionais da pesquisa, possibilitando o avanço da investigação mesmo diante da escassez de infraestrutura adequada para o beneficiamento do material.

No que se refere à dosagem dos teores de ligante asfáltico, optou-se por manter fixo o teor de 4,0% em todas as misturas elaboradas. Essa decisão metodológica, embora embasada em estudos técnicos prévios, como os de Oliveira (2003) e Schneider (2016), limitou a exploração de possíveis variações de desempenho relacionadas a diferentes percentuais de CAP nas amostras modificadas. A inclusão de uma matriz experimental mais ampla, com múltiplos teores, acarretaria um aumento significativo da demanda por insumos, tempo de execução e recursos laboratoriais, o que se mostrou inviável no contexto deste estudo, conduzido como Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) vinculado a um edital de pesquisa interno, sem previsão orçamentária para a expansão da escala experimental.

Adicionalmente, a moldagem e avaliação das misturas asfálticas drenantes foram realizadas com base no método Marshall, em função das parcerias institucionais estabelecidas, que disponibilizaram suporte técnico e acesso aos equipamentos laboratoriais essenciais. Contudo, reconhece-se que esse método, apesar de consolidado na prática acadêmica e profissional, não reproduz fielmente as condições reais de compactação e carregamento observadas em campo. Essa limitação se agrava diante da ausência de um laboratório de pavimentação plenamente estruturado, o que comprometeu a realização de análises mais aprofundadas, como ensaios de módulo de resiliência ou fadiga. Vale destacar que, por se tratar de um projeto de TCC desenvolvido sob prazos delimitados e vinculado a um edital institucional sem fomento financeiro, não foi possível viabilizar investigações mais robustas. Ainda assim, estudos complementares já estão em desenvolvimento pelo grupo de pesquisa vinculado ao projeto, com o objetivo de ampliar e aprofundar as análises mecânicas e funcionais das misturas, sendo os resultados dessas investigações futuras devidamente incorporados na conclusão do artigo.

A análise estatística por meio da ANOVA e do teste de Tukey não foi realizada em razão de limitações orçamentárias impostas pelo edital que financiou a presente etapa do estudo. Os recursos disponíveis foram direcionados às fases iniciais da pesquisa, priorizando a obtenção de dados preliminares e a consolidação da metodologia adotada. Essa etapa inicial integra um projeto mais abrangente e teve como foco principal a capacitação prática da equipe envolvida, bem como a execução de experimentos em escala laboratorial, o que acabou restringindo a possibilidade de uma amostragem estatisticamente mais robusta. Nesse contexto, torna-se importante esclarecer que o grupo responsável já se dedica à estruturação de uma nova etapa do estudo, ainda em fase de planejamento, cujo objetivo será aprofundar a abordagem técnico-científica adotada e suprir as lacunas identificadas, incluindo a aplicação de análises estatísticas mais avançadas, com previsão de captação de novos recursos específicos para essa finalidade.

Apesar das restrições apresentadas, os dados obtidos mostraram alinhamento com a literatura e forneceram subsídios importantes para compreender o comportamento inicial das misturas asfálticas com adição de EVA. As limitações apontadas reforçam a necessidade de investigações futuras com maior abrangência, contemplando variações de dosagem, métodos de compactação mais próximos da realidade em campo, ensaios laboratoriais de maior complexidade e análises estatísticas mais robustas. As diretrizes para esses desdobramentos são apresentadas na seção de Considerações Finais.

Análises dos dados e resultados

Os resultados deste estudo serão apresentados e discutidos a seguir, abordando a caracterização volumétrica, hidráulica, mecânica e de adesividade das misturas asfálticas drenantes CPA, considerando o uso de CAP modificado com REVA em diferentes proporções e temperaturas de usinagem.

Propriedades volumétricas

A capacidade de drenagem, principal característica da CPA, depende das propriedades volumétricas da mistura, especialmente volume de vazios (VV) e vazios comunicantes (VVC). Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Volume de vazios total e vazios comunicantes das misturas asfálticas

MISTURAS	VV (%)	VV MÉDIO (%)	DESVIO PADRÃO	VVC (%)	VVC MÉDIO (%)	DESVIO PADRÃO
REF	22,10	21,82	2,36	11,37	11,52	1,63
	24,57			13,59		
	18,80			9,61		
CPA01	23,37	20,76	2,86	11,55	10,50	0,75
	22,14			9,84		
	16,78			10,12		
CPA02	16,41	18,47	1,87	10,14	10,24	0,11
	18,05			10,18		
	20,94			10,39		
CPA03	19,33	18,10	0,89	9,56	10,20	1,24
	17,27			11,93		
	17,71			9,11		

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Conforme os dados da Tabela 3, observou-se uma redução no volume total de vazios das amostras CPA01, CPA02 e CPA03 em comparação à amostra REF. A redução no volume total de vazios foi de cerca de 17%, enquanto a dos vazios comunicantes foi de aproximadamente 11,45%.

As misturas CPA, contendo 4,0% de asfalto e proporções crescentes de REVA (0%, 1%, 2% e 3%), atenderam à norma DNER-ES 386/99, que exige que o volume de vazios esteja entre 18% e 25%. Os resultados obtidos estão alinhados com os dados de Martinez (2017), que também identificou uma redução dos volumes de vazios e vazios comunicantes com o aumento do teor de resíduo no ligante.

Esse comportamento pode ser explicado pela adição do elastômero ao asfalto, que aumenta a coesão do ligante e melhora sua capacidade de encapsular os agregados. Esse efeito foi mais significativo na mistura CPA03, com 3% de REVA, que apresentou os menores volumes de vazios entre as amostras analisadas.

Embora todas as misturas estejam em conformidade com a norma brasileira, os limites exigidos variam em diferentes países. No Japão, os volumes de vazios devem estar entre 17% e 23%, enquanto na França o valor mínimo é de 20%. Nos Estados Unidos, as especificações são semelhantes às brasileiras, com volumes entre 18% e 25%.

Nesse contexto, a quantificação dos volumes de vazios vai além de atender exigências normativas, sendo fundamental para o desempenho hidráulico e mecânico das misturas. Em misturas CPA, volumes de vazios maiores podem comprometer a resistência ao desgaste e às cargas repetitivas, reduzindo a vida útil do pavimento, conforme elucidado por Dresch (2016).

De maneira semelhante ao comportamento do volume de vazios, os volumes de vazios comunicantes variaram de 11,52% a 10,20%, com o maior índice registrado nas amostras REF, sem modificação (13,60%), e o menor nas amostras CPA03, modificadas com 3% de REVA (próximo a 10%). Como observado na Tabela 3, houve uma redução dos vazios comunicantes acompanhando a diminuição do volume total de vazios, conferindo maior coesão e eficiência na compactação das misturas modificadas, em conformidade com Schneider (2016).

Garantir o equilíbrio entre a quantidade de vazios comunicantes e a durabilidade do pavimento é essencial para seu desempenho estrutural. O excesso de vazios pode comprometer a integridade e reduzir a vida útil da estrutura. De acordo com os resultados deste estudo e com a normativa francesa AFNOR-NF-P-98-254-2 (1993), o valor ideal para os vazios comunicantes deve se aproximar de 10%, assegurando uma performance adequada do pavimento.

Esses critérios têm como objetivo manter as misturas asfálticas dentro das condições ideais de uso. Durante o período de operação, o tráfego pode causar a compactação dos agregados, enquanto o ligante asfáltico tende a migrar para a superfície. Essa redistribuição pode levar à formação de uma fina camada de asfalto sobre a camada de rolamento, reduzindo a aderência e aumentando os riscos de derrapagem, como descrito por Dresch (2016).

Além disso, variações nas temperaturas de usinagem podem impactar diretamente o volume do ligante asfáltico, influenciando a distribuição e a estabilidade da mistura. Esse efeito depende do tipo de ligante utilizado, podendo alterar a viscosidade, a adesividade e a interação com os agregados. Temperaturas inadequadas podem comprometer a trabalhabilidade da mistura, afetando a compactação e, conseqüentemente, o desempenho mecânico e hidráulico do pavimento. Dessa forma, é essencial projetar misturas que atendam às especificações de vazios comunicantes, garantindo um equilíbrio adequado entre drenagem e resistência estrutural, evitando problemas como exsudação ou perda prematura de aderência.

Os resultados deste estudo também estão alinhados com os valores obtidos por Kolodziej (2016), que constatou que todos os corpos de prova analisados mantiveram um volume de vazios comunicantes superior a 10%, dentro das especificações normativas.

Permeabilidade

Com base no programa metodológico adotado neste estudo, os coeficientes de permeabilidade das amostras de referência REF variaram entre 0,27 e 0,41 cm/s, enquanto as amostras modificadas CPA01, CPA02 e CPA03 apresentaram valores entre 0,16 e 0,37 cm/s, conforme mostrado na Tabela 4. Essa redução na permeabilidade, que atingiu aproximadamente 45,45%, era esperada e está diretamente relacionada ao percentual de vazios na mistura. De acordo com Dresch (2016), misturas com maior teor de vazios tendem a apresentar maior condutividade hidráulica, o que explica a diferença observada entre as amostras modificadas e a referência.

Tabela 4 – Condutividade hidráulica das misturas asfálticas analisadas

MISTURAS	CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA (cm/s)	CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA MÉDIA (cm/s)	DESVIO PADRÃO
REF	0,41	0,33	0,06
	0,32		
	0,27		
CPA01	0,37	0,30	0,06
	0,30		
	0,22		
CPA02	0,35	0,30	0,04
	0,27		
	0,27		
CPA03	0,21	0,19	0,02
	0,19		
	0,16		

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Embora as misturas CPA analisadas pelo estudo apresentaram um comportamento de redução da drenabilidade por entre seus vazios, estas ainda apresentaram alta condutividade hidráulica, com coeficientes de permeabilidade acima de 10^{-3} m/s, corroborando os estudos de

Schneider (2016) e Dresch (2016) e atendendo à classificação de Lambe e Whitman (1974). Apesar de apresentarem valores similares de condutividade hidráulica, devido à proximidade nos percentuais de vazios, a mistura sem modificação de EVA demonstrou maior permeabilidade. Martinez (2017) atribui esse comportamento à capacidade do resíduo de melhorar a adesão e uniformidade da mistura, favorecendo o intertravamento agregado-ligante.

Nessa perspectiva, para as misturas asfálticas analisadas pelo estudo, que utilizaram ligantes modificados com REVA e foram produzidas com o mesmo CAP e agregados, os principais fatores que influenciam a permeabilidade, sob condições idênticas de ensaio, são as variações nos teores de resíduo e as propriedades volumétricas das misturas.

As amostras modificadas, CPA01, CPA02 e CPA03, registraram permeabilidades médias menores em relação à REF, com valores de 0,30 cm/s para CPA01 e CPA02, e 0,18 cm/s para CPA03. Essas misturas também apresentaram percentuais reduzidos de vazios totais e comunicantes, o que explica a menor facilidade de percolação observada.

Dessa forma, essa observação reforça que a permeabilidade das misturas asfálticas drenantes está diretamente ligada ao volume de vazios. Misturas com menor quantidade de vazios dificultam o fluxo de água através do revestimento. Resultados semelhantes foram observados por Oliveira (2003), Martinez (2017) e Schneider (2019), evidenciando a consistência dessa relação em diferentes estudos.

Resistência à tração por compressão diametral

No estudo, os valores da resistência à tração por compressão diametral (RT) apresentaram variações entre 1,10 - 1,28 MPa. Para a amostra de referência REF, sem modificação, os valores oscilaram entre 1,07 - 1,16 MPa. Em contrapartida, as amostras modificadas CPA01, CPA02 e CPA03 mostraram uma variação mais ampla, de 0,99 - 1,35 MPa.

Vale destacar que as misturas CPA02 e CPA03 apresentaram os maiores valores de resistência à tração por compressão diametral (RT) para o teor de ligante de 4,0%, registrando 1,26 MPa e 1,28 MPa, respectivamente. Por outro lado, as amostras REF e CPA01, embora dentro dos limites estabelecidos pela norma DNER-ES 386/99, exibiram valores inferiores em comparação às misturas CPA02 e CPA03. A amostra REF, sem qualquer modificação, apresentou o menor RT, atingindo 1,10 MPa, seguida pela CPA01, com 1,12 MPa.

Nessa perspectiva, observou-se um aumento significativo de aproximadamente 16,36% na resistência à tração por compressão diametral conforme o teor do resíduo de EVA foi elevado nas misturas modificadas CPA01, CPA02 e CPA03, em relação à amostra REF. Essa relação positiva entre o aumento do teor de EVA e a RT pode ser visualizada na Tabela 5, que demonstra a tendência de melhoria nas propriedades mecânicas com o incremento do resíduo nas misturas.

Tabela 5 – Resistência à tração por compressão diametral das misturas asfálticas

MISTURAS	RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO (MPa)	RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO MÉDIA (MPa)	DESVIO PADRÃO
REF	1,07	1,10	0,04
	1,08		
	1,16		
CPA01	0,99	1,12	0,09
	1,16		
	1,20		
CPA02	1,16	1,26	0,07
	1,28		
	1,34		
CPA03	1,22	1,28	0,05
	1,26		
	1,35		

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

De acordo com a norma DNER-ES 386/99, as misturas asfálticas drenantes devem possuir uma resistência mínima de 0,55 MPa. Nesse contexto, conforme pode ser observado no Gráfico 8, todas as amostras produzidas neste estudo atenderam a esse critério, comprovando sua conformidade para utilização em pavimentos do tipo CPA.

Os resultados mostraram que a resistência à tração é influenciada positivamente pelo aumento do teor de ligante modificado e negativamente pela elevação no índice de vazios. Ao avaliar os valores obtidos, observa-se que as misturas seguem uma tendência uniforme, indicando que o copolímero de EVA contribui significativamente para o desempenho. As propriedades elastoméricas desse material melhoram a flexibilidade e a coesão do ligante, fortalecendo a estrutura da mistura asfáltica, conforme já apontado por Martinez (2017).

Por outro lado, a maior presença de vazios em algumas misturas explica a redução da resistência à tração. Esse fenômeno já havia sido discutido por Schneider (2016), que destacou a relação entre volumes de vazios elevados e uma menor resistência mecânica das misturas asfálticas.

Sob essa perspectiva, considerando que todas as misturas asfálticas foram fabricadas com o mesmo CAP e os mesmos agregados, os fatores mais influentes na resistência à tração por compressão diametral foram o teor do resíduo de EVA e o volume de vazios presentes nas misturas. Logo, essas variáveis se mostraram determinantes para as variações de desempenho, sob condições idênticas de ensaio.

Nesse contexto, a mistura asfáltica que apresentou a maior resistência à tração por compressão diametral foi aquela com 4% de adição de REVA no ligante asfáltico, alcançando uma RT de 1,28 MPa, enquanto seu volume de vazios foi em torno de 18%. Por outro lado, a menor RT foi observada na mistura que não recebeu nenhuma modificação com REVA, a qual mostrou um índice de vazios consideravelmente superior, cerca de 21,90%.

Sob essa ótica, essa relação demonstra que a resistência à tração por compressão diametral se elevou à medida que o volume de vazios nas misturas foi reduzido. Esse padrão linear já tinha sido estabelecido anteriormente por Balbo (2007) e Bernucci *et al.* (2022).

Perda de massa por abrasão

A análise dos resultados para a perda de massa por abrasão das misturas REF, CPA01, CPA02 e CPA03 revelou variações médias entre 0,83% - 0,16%. A mistura de referência REF, sem aditivos modificadores, apresentou desgaste na faixa de 0,17% a 0,35%, enquanto as misturas CPA01, CPA02 e CPA03, com ligantes modificados, exibiram perdas entre 0,13% e 0,72%.

As misturas REF, CPA01 e CPA03 demonstraram alta resistência à abrasão, com médias próximas a 0,2%, o que reforça sua durabilidade frente à desintegração superficial. Esses valores estão bem abaixo do limite normativo de 25% para misturas drenantes, confirmando sua eficiência.

Já a mistura CPA02 apresentou um comportamento diferenciado, com média de desgaste ao redor de 0,8%. Embora tenha mostrado uma redução gradativa na perda de massa durante os ensaios, seus resultados indicam menor resistência ao desgaste em comparação às

demais misturas analisadas. A Tabela 6 detalha os dados obtidos pelo estudo do teor de modificação do ligante asfáltico sobre a resistência ao desgaste por abrasão.

Tabela 6 – Perda de massa por abrasão das misturas asfálticas

MISTURAS	PERDA DE MASSA POR ABRASÃO (%)	PERDA DE MASSA POR ABRASÃO MÉDIA (%)	DESVIO PADRÃO
REF	0,35	0,25	0,07
	0,24		
	0,17		
CPA01	0,13	0,2	0,15
	0,41		
	0,073		
CPA02	1,12	0,83	0,21
	0,72		
	0,65		
CPA03	0,18	0,16	0,06
	0,22		
	0,08		

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Conforme pode-se observar na Tabela 6, os resultados obtidos no ensaio Cantabro para as amostras REF, CPA01, CPA02 e CPA03 indicaram uma tendência de aumento da perda de massa por abrasão, especialmente influenciada pelo desempenho da amostra CPA02. Essa amostra apresentou valores de desgaste superiores aos das outras misturas analisadas, sugerindo diferenças significativas na resistência à abrasão devido às características estruturais das misturas asfálticas permeáveis.

Segundo estudos como os de Dresch (2016), a elevação do volume de vazios compromete a coesão interna da mistura, em função da menor disponibilidade de ligante e agregados para sua estabilização. Esse fator pode explicar a maior perda de massa observada na CPA02, cuja composição apresenta volume de vazios elevado, característica típica de misturas drenantes. Essa condição torna as partículas agregadas mais vulneráveis ao desgaste por abrasão, resultando em uma menor resistência estrutural. Por outro lado, as misturas CPA01 e CPA03, também modificadas, apresentaram desempenho superior, com reduções significativas na perda de massa em relação à amostra REF, sem modificação.

O estudo da adesividade das misturas asfálticas por meio do ensaio Cantabro traz uma perspectiva detalhada sobre a influência do volume de vazios no desempenho das misturas modificadas com REVA. Essa análise é crucial para compreender como o desgaste superficial se comporta em função das propriedades estruturais das misturas.

Apesar do desvio observado na mistura CPA02, as amostras REF, CPA01 e CPA03 apresentaram uma relação clara entre o volume de vazios e a perda de massa por abrasão, conforme apresentado na Tabela 6. Esse padrão decrescente confirma que o desgaste é diretamente influenciado pela quantidade de vazios na mistura, conforme evidenciado por Martinez (2017).

Nessa perspectiva, misturas com maior compactação, ou seja, menor volume de vazios, tendem a apresentar maior resistência ao desgaste devido ao perfeito empacotamento dos materiais constituintes, promovendo o preenchimento dos vazios na estrutura. Já misturas menos compactas, caracterizadas por um volume de vazios elevado, tornam-se mais suscetíveis à abrasão por apresentarem menor densidade estrutural. Essa correlação destaca a importância de ajustes precisos durante o projeto de misturas drenantes, garantindo maior resistência e durabilidade.

Apesar das diferenças entre as amostras, todas elas atenderam às exigências normativas do departamento de transportes do Brasil, que determinam um limite máximo de 25% de perda de material para misturas drenantes. Isso demonstra que, mesmo com variações de desempenho das propriedades funcionais, as misturas estudadas possuem características adequadas para aplicação prática.

Portanto, os resultados reforçaram a necessidade de otimização contínua das técnicas de compactação e da escolha de materiais adequados para pavimentos drenantes. Garantir a conformidade com os padrões de projeto não apenas prolonga a vida útil dos pavimentos, mas também melhora seu desempenho em condições de tráfego intenso e sob diversas condições climáticas.

Considerações finais

O presente estudo teve como objetivo analisar as propriedades funcionais de concretos asfálticos do tipo Camada Porosa de Atrito (CPA) modificados com o resíduo industrial de Etileno Acetato de Vinila (EVA). A pesquisa demonstrou que a incorporação desse resíduo nas

misturas asfálticas apresentou resultados promissores, evidenciando seu potencial como um material modificador eficiente para revestimentos asfálticos drenantes. Além de proporcionar uma destinação sustentável a um resíduo industrial de difícil manejo, o uso do EVA promoveu melhorias significativas nas características funcionais das misturas CPA, atendendo às normas técnicas vigentes.

Com relação ao índice de vazios, as misturas asfálticas drenantes modificadas com o resíduo do EVA apresentaram valores inferiores à mistura de referência, mantendo-se dentro dos limites estabelecidos para misturas do tipo CPA. Esse comportamento foi acompanhado por uma leve redução na permeabilidade hidráulica, que, embora diminuída, não comprometeu a eficiência de escoamento das amostras, garantindo um desempenho funcional adequado. Os resultados também evidenciaram que as misturas CPA02 e CPA03 foram especialmente destacadas, apresentando menores índices de vazios, o que contribuiu para uma maior consistência e estabilidade das amostras.

No aspecto mecânico, as misturas modificadas com o resíduo do EVA apresentaram um aumento expressivo na resistência à tração por compressão diametral e ao desgaste cantabro, superando os valores mínimos exigidos pela norma DNER-ES 386/99. Essas melhorias indicam que o resíduo não apenas aprimora as propriedades mecânicas das misturas, mas também pode contribuir para uma maior durabilidade do pavimento, tornando-o mais resistente às solicitações de tráfego e às condições ambientais adversas. Os ganhos observados, com incrementos de até 30% em relação à mistura de referência, reforçam o potencial do resíduo do EVA como um aditivo de alto desempenho para misturas asfálticas.

Embora os resultados obtidos sejam promissores, ainda existem lacunas significativas no conhecimento sobre o uso do resíduo de EVA em misturas asfálticas. A escassez de referências bibliográficas específicas sobre o tema representa um desafio para o embasamento teórico e o aprofundamento das análises. Nesse contexto, investigações futuras podem explorar a aplicação de diferentes teores de EVA, além de realizar análises mais detalhadas das interações químicas e físicas entre o resíduo e o ligante asfáltico. Também seria relevante avaliar o desempenho dessas misturas em escala prática, por meio de testes em condições reais de campo que considerem aspectos como durabilidade, ciclo de vida e viabilidade econômica, contribuindo para a consolidação do conhecimento técnico e científico sobre essa aplicação.

Em síntese, a pesquisa demonstrou que a modificação de misturas CPA com resíduos do EVA é técnica e ambientalmente viável, apresentando benefícios em múltiplas dimensões. Essa prática não apenas promove a sustentabilidade e a inovação tecnológica no setor de pavimentação, como também oferece uma alternativa eficiente para melhorar a qualidade e a durabilidade das infraestruturas rodoviárias. Assim, conclui-se que o uso do resíduo do EVA em misturas asfálticas do tipo CPA representa um avanço significativo tanto no âmbito técnico quanto no ambiental, abrindo novas perspectivas para o desenvolvimento de novos materiais asfálticos mais sustentáveis e de alto desempenho.

Referências

- AHMED, Abubeker Worake et al. Pavement performance follow-up and evaluation of polymer-modified test sections. **International Journal of Pavement Engineering**, Londres, v. 20, n. 12, p. 1474-1487, jan./dez. 2019. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10298436.2018.1435878>. Acesso em: 10 fev. 2025.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 11341**: Derivados de petróleo – Determinação dos pontos de fulgor e combustão em vaso aberto Cleveland. Rio de Janeiro, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12891**: Dosagem de misturas betuminosas pelo método Marshall. Rio de Janeiro, 1993.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 14950**: Materiais betuminosos- Determinação da viscosidade Saybolt Furol. Rio de Janeiro, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16605**: Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2017.
- ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALISATION. **AFNOR NF P 98-254-2**: Mesure de propriétés liées à la perméabilité des matériaux des mélanges hydrocarbonés, partie 2. Paris, 1993.
- BALBO, José Tadeu. **Pavimentação asfáltica**: materiais, projeto e restauração. São Paulo: Oficina de textos, 2007.
- BERNUCCI, Liedi Bariani et al. **Pavimentação asfáltica**: formação básica para engenheiros. 2.ed. Rio de Janeiro: ABEDA, 2022.

COUSINS, Joshua; HILL, Dustin. Green infrastructure, stormwater, and the financialization of municipal environmental governance. **Journal of Environmental Policy & Planning**, Londres, v. 23, n. 5, p. 581-598, jul./set. 2021. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/1523908X.2021.1893164>. Acesso em: 03 jan. 2025.

DAVOODI, Asieh et al. Influence of nano-silica modified rubber mortar and EVA modified porous asphalt on the performance improvement of modified semi-flexible pavement. **Construction and Building Materials**, Amsterdã, v. 337, n. 1, p. 1-15, jan./jun. 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061822012491?via%3Dihub>. Acesso em: 11 fev. 2025.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Norma DNER-ME 035/98**: Agregados - determinação da abrasão “Los Angeles”. Rio de Janeiro, 1998.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Norma DNER-ME 054/97**: Equivalente de areia. Rio de Janeiro, 1997.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Norma DNER-ME 148/94**: Material betuminoso – determinação dos pontos de fulgor e combustão (Vaso Aberto Cleveland). Rio de Janeiro, 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Norma DNER-ME 194/98**: Agregados - determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman. Rio de Janeiro, 1998.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Norma DNER-ME 383/99**: Desgaste por abrasão de misturas betuminosas com asfalto polímero - ensaio Cantabro. Rio de Janeiro, 1999.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Norma DNER-ES 386/99**: Pavimentação – pré-misturado a quente com asfalto polímero – camada porosa de atrito. Rio de Janeiro, 1999.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Norma DNIT 031/2006 – ES**: Pavimentos flexíveis - Concreto asfáltico - Especificação de serviço. Rio de Janeiro, 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Norma DNIT 095/2006 – EM**: Cimentos asfálticos de petróleo - Especificação de material. Rio de Janeiro, 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Norma DNIT 131/2010 – ME**: Materiais asfálticos – Determinação do ponto de amolecimento - Método do Anel e Bola Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2010.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Norma DNIT 136/2018 – ME:** Pavimentação asfáltica – Misturas asfálticas – Determinação da resistência à tração por compressão diametral – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2018.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Norma DNIT 155/2010 – ME:** Material asfáltico – Determinação da penetração – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2010.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Norma DNIT 178/2018 – PRO:** Pavimentação asfáltica - Preparação de corpos de prova para ensaios mecânicos usando o compactador giratório Superpave ou o Marshall – Procedimento. Rio de Janeiro, 2018.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Norma DNIT 413/2021 – ME:** Pavimentação – Massa específica, densidade relativa e absorção de agregado graúdo para misturas asfálticas – Método de ensaio. Brasília, 2021.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Norma DNIT 412/2019 – ME:** Pavimentação - Misturas asfálticas – Análise granulométrica de agregados graúdos e miúdos e misturas de agregados por peneiramento – Método de ensaio. Brasília, 2019.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Norma DNIT 425/2020 – ME:** Pavimentação – Agregado – Determinação do índice de forma com paquímetro – Método de ensaio. Brasília, 2020.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Norma DNIT 428/2020 – ME:** Pavimentação – Misturas asfálticas – Determinação da densidade relativa aparente e da massa específica aparente de corpos de prova compactados – Método de ensaio. Brasília, 2020.

DRESCH, Fernanda. **Comportamento de misturas asfálticas tipo Camada Porosa de Atrito (CPA).** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2016.

DUMKE, Marilan Pedro. **Concreto asfáltico drenante com fibras de celulose, ligante modificado por polímero e asfalto-borracha.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **CEN - EN 12697-19:** Bituminous mixtures - Test methods - Part 19: Permeability of specimen. Comitê de Organização Online, 2020.

FOGEIRO, Jéssica Simões. **Cidade Esponja – Aplicação do Conceito e Métodos no Bairro Marechal Gomes da Costa, Porto.** Dissertação (Mestrado em Arquitetura Paisagista), Universidade do Porto, Porto, 2019.

FONTOURA, Eduarda. **Incorporação de resíduos poliméricos em misturas asfálticas: Análise técnica e potenciais impactos ambientais.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2023.

GAMA, Denneyele Alves. **Avaliação do potencial do uso do Etileno Acetato de Vinila (EVA) descartado pela indústria calçadista em misturas asfálticas.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental), Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2013.

GUIMARÃES, Daniela Muniz D'Antona et al. A influência da composição granulométrica segundo as metodologias Bailey, FAD e Marshall no desempenho à deformação permanente de misturas asfálticas. **Matéria**, Rio de Janeiro, v. 27, n. 3, p. 1-18, jul./set. 2022. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rmat/a/XrPCS6Dpk5KsxJG4wr7sm8y/?lang=pt>. Acesso em: 07 jan. 2025.

HAMMES, Gabriela; THIVES, Liseane Padilha. Porous Asphalt Mixture with Improved Fatigue Resistance and Stormwater Pollutant Reduction in Urban Road Pavement. **Water**, Basel, v. 15, n. 16, p. 1-21, jan./ago. 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4441/15/16/2962>. Acesso em: 09 fev. 2024.

HENKES, Jairo Afonso. Tragédia climática e ambiental: mais de 90% dos municípios e das indústrias do Rio Grande Do Sul foram duramente impactadas com os recentes eventos climáticos. **Revista Brasileira de Meio Ambiente e Sustentabilidade**, Florianópolis, v. 4, n. 2, p. 1-4, abr./mai. 2024. Disponível em: <https://rbmaes.emnuvens.com.br/revista/article/view/406/332>. Acesso em: 27 dez. 2024.

HONG, Zhe et al. Laboratory performance evaluation of waste tire rubber (WTR) and ethylene-vinyl acetate (EVA) - modified asphalt mixtures. **International Journal of Pavement Engineering**, Londres, v. 24, n. 1, p. 1-12, jan./jun. 2023. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10298436.2023.2224914>. Acesso em: 11 fev. 2025.

JACQUES, Guilherme Ebani. **Aplicabilidade de misturas mornas em revestimentos do tipo camada porosa de atrito (CPA).** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

KOŁODZIEJ, Vanesa María. **Estudo das propriedades acústicas, drenantes e mecânicas de revestimentos asfálticos porosos.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

LAMBE, Thomas William; WHITMAN, Robert Valence. **Mecânica de suelos.** México: Editorial Limusa S.A, 1974.

MAIA, Renan Santos et al. 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 Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes, 33., 2019, Balneário Camboriú. **ANPET**. 2019. p. 1-8. Disponível em: https://www.anpet.org.br/index.php/pt/anais/documentos/2019v1.1/Infraestrutura/Comunica%C3%A7%C3%B5es%20T%C3%A9cnicas/1_550_CT.pdf. Acesso em: 10 fev. 2025.

MARTINEZ, Juan Gabriel Bastidas. **Asfaltos e misturas modificadas com materiais alternativos**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil e Ambiental), Universidade de Brasília, Brasília, 2017.

MELO, Ana Luiza Rezende de; FERREIRA, Marinaldo Loures; RODRIGUES, Reimário de Castro. **Engineering Sciences**, Aquidabã, v. 9, n. 1, p. 102-113, jan./mar. 2021. Disponível em: <https://www.sustenere.inf.br/index.php/engineeringsciences/article/view/CBPC2318-3055.2021.001.0011>. Acesso em: 20 jan. 2025.

OLIVEIRA, Carlos Gustavo Macedo. **Estudo de propriedades mecânicas e hidráulicas do concreto asfáltico drenante**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental), Universidade de Brasília, Brasília, 2003.

OYALOWO, Basirat. Implications of urban expansion: land, planning and housing in Lagos. **Buildings and Cities**, Londres, v. 3, n. 1, p. 692-708, jan./dez. 2022. Disponível em: <https://journal-buildingscities.org/articles/10.5334/bc.243>. Acesso em: 13 jan. 2025.

PIMENTEL, Filipe Andrade Lima. **Comportamento de uma mistura asfáltica modificada pela adição de fibras sintéticas**. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil), Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2021.

POURANIAN, Reza; IMANINASAB, Reza; SHISHEHBOR, Mehdi. The effect of temperature and stress level on the rutting performance of modified stone matrix asphalt. **Road Materials and Pavement Design**, Londres, v. 21, n. 5, p. 1386-1398, set./out. 2020. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/14680629.2018.1546221>. Acesso em: 11 fev. 2025.

REIS, Felipe Bastos dos; FERNANDES, Palloma Renny Beserra. A reutilização de resíduos sólidos na economia circular: estudo de caso no mercado de calçadista. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 7, n. 5, p. 48456-48470, 2021. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/29772/23490>. Acesso em: 19 dez. 2024.

SANTANA, Maria Iasmim Barroso de. **Revisão sistemática: Resíduos poliméricos como modificadores das propriedades de ligantes asfálticos**. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil), Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Cajazeiras, 2021.

SCHNEIDER, Daniel. **Determinação do teor de asfalto para enquadramento de uma mistura asfáltica aberta como Camada Porosa de Atrito**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil). Centro Universitário UNIVATES, Lajeado, 2016.

SCHNEIDER, Daniel et al. Comportamento hidráulico e mecânico de uma mistura asfáltica aberta enquadrada como Camada Porosa de Atrito. In: Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte da Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes, 33., 2019, Balneário Camboriú. **ANPET**. 2019. p. 1-12. Disponível em: <https://anpet.org.br/33anpet/index.php/pt/anais>. Acesso em: 17 jan. 2025.

SERRA, Fernando Antonio Ribeiro et al. Doing Bibliometric Reviews for the Iberoamerican Journal of Strategic Management. **Revista Ibero-Americana de Estratégia**, São Paulo, v. 17, n. 3, p. 01–16, jul./set. 2018. Disponível em: <https://periodicos.uninove.br/riae/article/view/10860>. Acesso em: 9 fev. 2025.

SILVA, Luís Roberto Cavalcanti da; ANDRADE, Luciano Pires de. Reaproveitamento de rejeitos de Politereftalato de Etileno (PET) no Brasil: Uma revisão. **Revista de Ciências Ambientais**, Canoas, v. 16, n. 3, p. 01-14, set./dez. 2022. Disponível em: <https://revistas.unilasalle.edu.br/index.php/Rbca/article/view/9510>. Acesso em: 11 jan. 2025.

SILVA, Maiara da et al. Agregação de resíduos de blocos de concreto reciclado na matriz de pavimento asfáltico drenante. **Revista científica ACERTTE**, São Paulo, v. 2, n. 12, p. 1–21, jan./dez. 2022. Disponível em: <https://acertte.org/index.php/acertte/article/view/114>. Acesso em: 07 fev. 2025.

TOSIN, Adriel Araújo Bretas; PEREIRA, Murilo Campos. Utilização de politereftalato de etileno em substituição ao agregado miúdo na produção de concreto. **Revista Arq-Engenharia de Mato Grosso**, Sinop, v. 2, n. 1, p. 53–63, jul./dez. 2023. Disponível em: <https://revistas.fasipe.com.br/index.php/rae-mt/article/view/285>. Acesso em: 25 jan. 2025.

YAN, Kezhen et al. Compound modification of asphalt mixture using ethylene-vinyl acetate copolymer and amorphous poly alpha olefin. **Construction and Building Materials**, Amsterdã, v. 341, n. 1, p. 1-13, jan./jul. 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061822013800?via%3Dihub>. Acesso em: 10 fev. 2025.

ZUPIC, Ivan; CATER, Tomaz. Bibliometric methods in management and organization. **Organizational Research Methods**, Thousand Oaks, v. 18, n. 3, p. 429-472, jul./set. 2014. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1094428114562629>. Acesso em: 09 fev. 2025.