

Compósitos cimentícios e whitetopping: estratégias para a reabilitação de pavimentos urbanos

PEDRO MATIAZZI DA SILVA - PROF. - <https://orcid.org/0000-0002-7424-3561> – UNIFASIFE
HINOEL Z. EHRENBING - ITT PERFORMANCE - PROF. DR. - <https://orcid.org/0000-0002-0339-9825> – UNISINOS
BERNARDO F. TUTIKIAN - PROF. DR. - <https://orcid.org/0000-0003-1319-0547> – UNISINOS

RESUMO

ESTE ARTIGO APRESENTA UMA REVISÃO CRÍTICA DA LITERATURA SOBRE OS DESAFIOS E AS PERSPECTIVAS DO USO DE COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS EM RECAPEAMENTOS DE PAVIMENTOS URBANOS, EXPLORANDO SEU POTENCIAL COMO ALTERNATIVA AO CONCRETO ASFÁLTICO (CA) E AO WHITETOPPING. O ESTUDO DESTACA AS LIMITAÇÕES DO CA, COMO BAIXA DURABILIDADE E NECESSIDADE DE MANUTENÇÃO FREQUENTE, E APRESENTA O WHITETOPPING COMO UMA SOLUÇÃO MAIS EFICIENTE, EMBORA APRESENTE DESAFIOS RELACIONADOS À ADERÊNCIA E CONSIDERAÇÕES DE DIMENSIONAMENTO. NESSE CONTEXTO, OS COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS REFORÇADOS COM FIBRAS, EM ESPECIAL, O ECC (ENGINEERED CEMENTITIOUS COMPOSITES), SURTEM COMO ALTERNATIVA TÉCNICA PROMISSORA DEVIDO SUAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS TAIS COMO A DUCTILIDADE, RESISTÊNCIA À FISSURAÇÃO, RESISTÊNCIA À TRAÇÃO E COMPRESSÃO, ALÉM DA POSSIBILIDADE DE APLICAÇÃO EM ESPESURAS REDUZIDAS DE 30 MM. NO ENTANTO, ASPECTOS COMO CUSTO, TRABALHABILIDADE E DISPONIBILIDADE DE MATÉRIAS-PRIMAS AINDA REPRESENTAM ENTRAVES À SUA DIFUSÃO. CONCLUI-SE QUE, EMBORA AINDA EXISTAM DESAFIOS TÉCNICOS E ECONÔMICOS, OS COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS REPRESENTAM UMA ALTERNATIVA VIÁVEL PARA A INFRAESTRUTURA URBANA, DESDE QUE ADAPTADOS AO CONTEXTO NACIONAL.

PALAVRAS-CHAVE: DURABILIDADE, ECC, PAVIMENTO URBANO, RECAPEAMENTO, WHITETOPPING.

1. INTRODUÇÃO

A necessidade de manutenção da malha viária urbana traz preocupações constantes à sociedade local e aos respectivos gestores públicos, sobretudo considerando a situação das vias e as restrições orçamentárias no setor de infraestrutura urbana. Tradicionalmente, o recapeamento com concreto asfáltico (CA) é a solução mais adotada para reabilitação estrutural, apresentando vida útil superior a 15 anos quando adequadamente dimensionado (HOSSAIN *et al.*, 2010). Alternativamente, em intervenções de caráter funcional, emprega-se o microrrevestimento asfáltico, um tratamento superficial delgado com vida útil mais curta (tipicamente 2 a 4 anos) e maior suscetibilidade a mecanismos de deterioração como desgaste abrasivo e desagregação superficial (JI *et al.*, 2013; KONG *et al.*, 2025). Embora o CA apresente maior durabilidade, seu custo inicial elevado e a necessidade de espessuras consideráveis limitam sua aplicação em contextos de restrição orçamentária. Esse cenário evidencia a necessidade de soluções alternativas que conciliem durabilidade, viabilidade econômica e aplicabilidade em espessuras reduzidas para a reabilitação de pavimentos urbanos.

Nesse aspecto, há uma motivação para estudos que busquem soluções alternati-

vas, visando à durabilidade e à viabilidade econômica dos recapeamentos. Entre as técnicas pesquisadas ao longo do tempo, destaca-se o *whitetopping*, que consiste na sobreposição de uma camada delgada de 50 a 100 mm de concreto de cimento Portland, com juntas espaçadas de forma reduzidas para mitigar tensões térmicas e de carregamento. Alguns estudos recentes como o de Eberhardsteiner *et al.* (2023) indicam que essas sobreposições delgadas podem prolongar a vida útil do pavimento e reduzir os custos ao longo do tempo, porém devem ser projetadas de projetadas e executadas de maneira correta.

No Brasil, a única normativa sobre esse sistema é a DNIT 068/2004 - ES, que, embora não especifique espessura mínima, apresenta diretrizes sobre os materiais empregados e a execução, conforme demonstrado na Tabela 1. Estudos como o de Kunz (2020) evidenciam o bom desempenho desse sistema de revestimento, com ganhos de resistência e aumento da vida útil da estrutura.

Buscando soluções inovadoras para reabilitação de pavimentos, diversos estudos vêm explorando o emprego de compósitos cimentícios como alternativa promissora. A tese de doutorado de Rodríguez (2018) analisou o uso do ECC (*Engineered Cementitious Composites*),

TABELA 1
RECOMENDAÇÕES DNIT 068/2004 - ES

Barras de aço de transferências	Barras de ligação	Consumo mínimo de cimento kg/m ³	Relação A/C	Dim. máx agregado	Ar incorporado	Exsudação
CA-25	CA - 50	≥ 320	≤ 0,50	< 1/3 esp. da placa ou 50 mm	≤ 5%	≤ 1,5 %

também conhecido como concreto flexível, em recapeamentos asfálticos. De forma complementar, Ehrenbring (2020), em sua tese de doutorado, desenvolveu ECCs autocicatrizantes com diferentes fibras poliméricas. Por apresentar elevada ductilidade e resiliência, o ECC permite aplicação em espessuras inferiores a 5 cm, o que abre novas possibilidades em termos técnicos e econômicos.

Essa abordagem abre espaço para o desenvolvimento de compósitos cimentícios especiais com propriedades intermediárias entre o ECC e o *whitetopping*, com potencial de formulação a partir de matérias-primas viáveis no mercado nacional, considerando desempenho, durabilidade e custo.

Dessa forma, este artigo busca investigar os desafios e as perspectivas do uso de compósitos cimentícios em recapeamentos urbanos, comparando custo, vida útil, e as algumas propriedades, com o CA e o *whitetopping*, por meio de uma revisão crítica da literatura. A análise contempla aspectos técnicos, operacionais e econômicos, considerando desde a formulação do material até sua aplicação e potencial de inserção em obras de infraestrutura urbana no Brasil.

2. CONCRETO ASFÁLTICO EM RECAPEAMENTOS URBANOS

O concreto asfáltico (CA) destaca-se por sua ampla utilização em recapeamentos de pavimentos urbanos no Brasil, sobretudo pela facilidade de aplicação e pelo baixo custo inicial. No entanto, estudos indicam limitações consideráveis quanto à durabilidade desse material. Embora as diretrizes de projeto apontem uma vida útil média de aproximadamente 10 anos, ainda assim são buscadas alternativas que mitiguem problemas recorrentes, como a degradação térmica e mecânica, conforme discutido por Mello (2022). Essas deficiências resultam na necessidade de intervenções frequentes, o que implica custos acumulados de manutenção e pressão constante sobre os orçamentos públicos. Além do impacto financeiro, as falhas nos pavimentos provocam transtornos operacionais e sociais, refletindo-se na mobilidade urbana e na qualidade de vida da população.

Entre as manifestações patológicas mais recorrentes nesse tipo de pavimen-



FIGURA 1
PANELAS NO RECAPEAMENTO
ASFÁLTICO

FONTE: ROCHA; COSTA (2009)

to, destaca-se a deformação permanente, como um dos principais mecanismos de falha associados à exposição contínua ao tráfego repetitivo. Tal comportamento evidencia que a natureza viscoelástica do concreto asfáltico compromete sua durabilidade, tornando necessárias intervenções corretivas em intervalos reduzidos. De acordo com Mello (2022), a velocidade com que o pavimento se deteriora está diretamente relacionada a diversos fatores, entre eles: a capacidade de suporte da estrutura e da fundação, as condições ambientais, o volume e o tipo de tráfego, a carga por eixo aplicada ao sistema, o método construtivo adotado e as propriedades dos materiais utilizados.

Apesar dos avanços tecnológicos, como o emprego de ligantes modificados por polímeros, o concreto asfáltico ainda apresenta restrições em termos de desempenho ao longo do tempo. Essa limitação é intensificada em vias com tráfego intenso e alta frequência de frenagem, fatores que comprometem a integridade do pavimento, sendo comprovada segundo Silva *et al.* (2024) pelo alto número de veículos nos grandes centros como São Paulo com 9,6 milhões, Rio de Janeiro 3,13 milhões, aumentando, assim, a ocorrência de trincas, panelas (Figura 1), escorregamento e desagregação, que impactam diretamente a funcionalidade das vias, gerando a necessidade de manutenções constantes.

Nesse contexto, a utilização predominante do CA em recapeamentos urbanos torna-se um ponto de reflexão. As manutenções recorrentes, associadas aos custos acu-

mulados ao longo da vida útil do sistema, reforçam a urgência por soluções alternativas que garantam maior conforto aos usuários e assegurem a viabilidade financeira das intervenções viárias ao longo do tempo.

3. WHITETOPPING COMO SOLUÇÃO TÉCNICA: AVANÇOS E LIMITAÇÕES

A técnica de sobreposição de concreto sobre pavimento asfáltico, denominada *whitetopping*, caracteriza-se pela aplicação de uma camada delgada de concreto de cimento Portland sobre pavimentos asfálticos deteriorados. Sua principal vantagem é a aumentada rigidez estrutural e durabilidade, tornando-se uma alternativa promissora ao concreto asfáltico (CA), sobretudo em vias com alto volume de tráfego.

Existem três classificações principais para o *whitetopping*, definidas conforme a espessura da camada de concreto e a forma de interação com a base asfáltica:

- *Whitetopping* convencional: espessura superior a 200 mm, com ou sem conexão entre as camadas;
- *Whitetopping* delgado (*Thin Whitetopping* – TWT): espessura entre 100 e 200 mm, com aderência parcial ou total entre o concreto e o asfalto;
- *Whitetopping* ultradelgado (*Ultra-Thin Whitetopping* – UTW): espessura entre 50 e 100 mm, com forte dependência da aderência e ancoragem superficial entre as camadas.

Na Figura 2, segue o exemplo de aplicação do sistema *whitetopping* em rodovia, com camada de concreto sobre revestimento asfáltico existente, conforme projeto executivo de duplicação da BR-163/364/MT (2019). A ilustração evidencia a composição típica do pavimento com *whitetopping*, destacando a sobreposição da placa de concreto sobre o revestimento existente e a base estabilizada.

Segundo Fortes (1999) e Kunz (2020), as principais vantagens do *whitetopping* incluem: maior resistência à fadiga, menor suscetibilidade às variações térmicas e superior desempenho em frenagens. A adequada transferência de cargas entre placas de concreto é assegurada por meio de barras de transferência e dispositivos de ancoragem, os quais são essenciais para evitar desníveis e rupturas longitudinais entre as juntas.

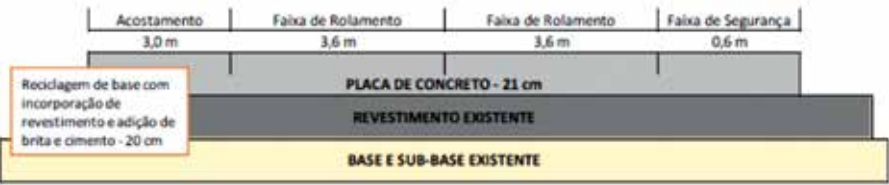


FIGURA 2
ESQUEMA DE WHITETOPPING NA RECUPERAÇÃO DE RODOVIA BR- 163/364/MT
FONTE: PROJETO EXECUTIVO DE DUPLICAÇÃO DA RODOVIA BR-163/364/MT (2019)

Por outro lado, a aderência entre o concreto e o asfalto é uma das variáveis críticas. Conforme destacado por Rodríguez (2018), falhas nessa interface podem provocar delaminações, comprometendo a durabilidade. Técnicas como fresagem superficial da camada asfáltica e uso de ponte de aderência com emulsões ou argamassa de ligação têm sido recomendadas para reforçar essa conexão.

Apesar do maior custo inicial, estudos como o de Gumurski e Brekailo (2025) demonstram que o whitetopping pode ter melhor relação custo-benefício a longo prazo, especialmente quando comparado ao CA em vias que exigem manutenções frequentes. No estudo de restauração da PRC-280, o custo do whitetopping foi estimado em

US\$ 1,26/m² contra US\$ 4,09/m² para o CA. Contudo, a aplicação do whitetopping ainda enfrenta desafios operacionais, como o tempo de cura do concreto, que pode impactar a logística urbana, além da exigência por materiais e mão de obra especializada. Para ampliar sua aplicabilidade em centros urbanos, é necessário investir em tecnologias que permitam menores espessuras, melhor aderência e execução mais rápida, mantendo os níveis de desempenho estrutural exigidos.

4. COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS ESPECIAIS REFORÇADOS COM FIBRAS: CONCEITO E POTENCIAL
Entre os compósitos cimentícios, o ECC

(Engineered Cementitious Composites) destaca-se por apresentar elevada ductilidade e excelente controle de fissuração, características que o tornam promissor para recapeamentos urbanos em substituição ao concreto asfáltico (CA) e ao whitetopping tradicional. Sua formulação inclui cimento Portland, adições minerais, aditivos e fibras sintéticas, como o polivinil álcool (PVA), que contribuem para a formação de múltiplas microfissuras com abertura inferior a 100 µm.

Estudos acadêmicos com foco experimental têm investigado o comportamento do ECC aplicado ao recapeamento asfáltico, explorando seu desempenho mecânico, trabalhabilidade e aderência à base asfáltica fresada. Uma das vantagens mais relevantes é a possibilidade de aplicação em espessuras inferiores a 5 cm, o que amplia seu potencial para obras de reabilitação urbana, permitindo menor consumo de material e reduzindo interferências em elementos existentes, como meio-fios, bueiros e altura livre sob pontes e viadutos.

Pesquisas também comparam o desempenho de fibras distintas, segundo Ehrenbring e Tutikian (2024) destacam: álcool polivinílico (PVA), polipropileno (PP), poliéster (POL), acrílico (PAC), nylon (NYL). As fibras de PVA apresentam maior resistência e capacidade de controle da fissuração, mas seu custo é elevado. Já, as fibras de POL e polipropileno PP têm se mostrado alternativas viáveis quando associadas a matrizes otimizadas, com propriedades mecânicas ajustadas. A Tabela 2 resume algumas propriedades típicas dos ECCs.

TABELA 2
PROPRIEDADES DO ECC

Propriedades	Características
Ductilidade	Deformação de até 5% sem perda de resistência
Microfissuração	Fissuras < 100 µm
Resistência à tração	4 a 6 MPa após fissuração
Resistência à compressão	30 a 50 MPa, conforme matriz
Tipos de fibras utilizadas	PVA, POL, PP

FONTE: ADAPTADO EHRENBING (2020)



FIGURA 3
PESQUISA DE RODRÍGUEZ APLICANDO O ECC COMO MATERIAL DE RECAPEAMENTO
FONTE: RODRÍGUEZ (2018)



FIGURA 4
MICROFISSURAÇÃO OBSERVADA EM CORPO DE PROVA PRISMÁTICO DE ECC
FONTE: FREITAS JÚNIOR; GARCEZ (2017)

Para além das análises teóricas, algumas pesquisas experimentais demonstram o potencial técnico do ECC em condições reais de aplicação. A Figura 3 apresenta o registro da execução de recapeamento com ECC sobre pavimento asfáltico, destacando sua viabilidade construtiva em campo, mesmo em espessuras reduzidas.

A Figura 4 ilustra a microfissuração na face tracionada de uma peça de ECC, enquanto a Figura 5 mostra o aspecto do compósito no estado fresco, destacando sua consistência e trabalhabilidade.

Apesar das vantagens técnicas, o ECC ainda enfrenta entraves relacionados ao alto custo de produção, à disponibilidade de fibras no mercado nacional e à necessidade de controle rigoroso em sua aplicação. Como alternativa, estudos sugerem o desenvolvimento de compósitos intermediários, com desempenho ajustado à realidade brasileira e menor custo, especialmente para uso em obras públicas de recapeamento.

5. CONSIDERAÇÕES SOBRE A VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA

A viabilidade do uso de compósitos cimentícios em recapeamentos urbanos depende diretamente do equilíbrio entre desempenho técnico e compatibilidade econômica. Embora o ECC (*Engineered Cementitious Composites*) tenha como principal vantagem o excelente controle de fissuração, que aliado a elevada ductilidade, maior durabilidade, o torna uma alternativa promissora, seu uso em larga escala no Brasil ainda é limitado, sobretudo pelo alto custo das fibras de PVA e pela complexidade dos processos construtivos envolvidos.

Apesar disso, estudos como o de Brekailo e Gumurski (2025) indicam que o sistema *whitetting* pode ser mais competitivo que o concreto asfáltico (CA) em longo prazo. No estudo de restauração da rodovia PRC-280, por exemplo, o custo do CA foi estimado em US\$ 4,09/m², enquanto o *whitetting* ficou em US\$ 1,26/m², demonstrando potencial de economia expressiva, especialmente em contextos com alta demanda de manutenção.

Outro fator determinante para a viabilidade técnica é a aderência entre cama-

das. A aplicação do ECC requer atenção redobrada à interface com a base asfáltica, sendo necessário maior controle tecnológico e cuidados com a trabalhabilidade. Além disso, aspectos como consistência do compósito, retração e durabilidade exigem soluções adaptadas à realidade brasileira. Estratégias como o uso de adições minerais de baixo custo e o emprego de fibras alternativas, como POL e PP, têm sido investigadas para reduzir custos sem comprometer o desempenho.

A consolidação desses materiais no mercado depende da integração entre planejamento urbano eficiente, formulações otimizadas e adoção de práticas construtivas economicamente acessíveis. Cabe destacar que, embora o ECC seja um material de alta tecnologia, sua composição baseia-se em materiais comuns da construção civil, como cimento Portland, agregados finos, aditivos superplastificantes e sílica ativa. O consumo médio de cimento varia entre 600 e 800 kg/m³, sendo possível adequar os traços com ajustes técnicos que favoreçam a redução de custos e o uso racional de recursos.

Portanto, a adoção de compósitos cimentícios como alternativa para recapeamentos urbanos mostra-se promissora, desde que acompanhada de estratégias que aliem desempenho, durabilidade, racionalização de materiais e compatibilidade com os orçamentos públicos.

6. ANÁLISE COMPARATIVA DOS SISTEMAS DE RECAPEAMENTO URBANO

A escolha do sistema de recapeamento ideal em vias urbanas está diretamente relacionada à durabilidade, ao desempenho estrutural e aos custos ao longo do ciclo de vida da pavimentação. Entre as soluções tradicionais, como o concreto asfáltico (CA), e as alternativas mais recentes, como o *whitetting* e os compósitos cimentícios reforçados com fibras, observa-se um contraste significativo em termos técnicos e econômicos.



FIGURA 5

ASPECTOS DO COMPÓSITO NO ESTADO FRESCO

FONTE: EHRENBING (2020)

O concreto asfáltico, amplamente utilizado devido à sua facilidade de aplicação e baixo custo inicial, apresenta limitações importantes, como a baixa resistência à deformação permanente, elevada suscetibilidade à variação térmica e necessidade recorrente de manutenção. Essas características comprometem sua eficiência em ambientes urbanos com tráfego intenso e aceleram o desgaste da estrutura.

Por outro lado, o *whitetting* surge como uma solução mais robusta, com elevada durabilidade, maior resistência à fadiga e menor frequência de intervenções. No entanto, esse sistema demanda espessuras mínimas que podem ser inviáveis em alguns contextos urbanos, além de exigir maior tempo de cura e logística construtiva mais complexa.

Os compósitos cimentícios reforçados com fibras, especialmente os inspirados no ECC, representam uma alternativa entre o CA e o *whitetting*. Sua alta ductilidade, resistência à fissuração e possibilidade de aplicação em camadas com menos de 5 cm os tornam especialmente atrativos para reabilitação de vias urbanas antigas, onde as restrições geométricas e operacionais são frequentes. Adicionalmente, o uso de fibras alternativas (como POL e PP) e adições minerais pode reduzir custos, favorecendo sua aplicação em larga escala. Segundo Barros (2023), o custo dos materiais que compõem o ECC tem apresentado redução ao longo do tempo, o que contribui para tornar esse compósito cada vez mais viável economicamente. A Tabela 3 resume as diferenças entre os sistemas comparados.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise dos sistemas de recapeamento urbano evidencia a necessidade de

TABELA 3

COMPARATIVO ENTRE SISTEMAS DE RECAPEAMENTO URBANO


alternativas mais eficientes ao concreto asfáltico (CA), cuja baixa durabilidade e alta frequência de manutenção resultam em custos acumulados e transtornos urbanos. O *whitetopping*, por sua vez, oferece ganhos estruturais relevantes, com maior vida útil e resistência, mas apresenta restrições operacionais, como a espessura mínima exigida e o tempo de cura do concreto, que dificultam sua adoção em determinadas situações.

Nesse cenário, os compósitos cimentícios reforçados com fibras, especialmente os inspirados no ECC, surgem como uma solução promissora. Suas propriedades mecânicas superiores, como elevada ductilidade, resistência à fissuração e possibilidade de aplicação em espessuras reduzidas, permitem o desenvolvimento de sistemas de recapeamento mais duráveis e adaptáveis à realidade urbana brasileira.

Apesar dos desafios ainda existentes, principalmente relacionados ao custo dos

Critério	Concreto asfáltico (CA)	Whitetopping	Compósitos Cimentícios (ECC e similares)
Custo inicial	Baixo	Médio/Alto	Alto (com possibilidade de redução)
Vida útil estimada	10 anos	> 20 anos	> 20 anos
Espessura mínima utilizada	4 cm	> 5 cm	< 5 cm
Frequência de manutenção	Alta	Baixa	Baixa
Tempo de execução	Rápido	Médio	Médio

insumos e à necessidade de ajustes tecnológicos, os compósitos cimentícios apresentam potencial para unir desempenho técnico e viabilidade econômica. A redução progressiva dos custos das fibras utilizadas, tem contribuído para tornar esses materiais mais competitivos. Avanços em pesquisas com fibras alternativas e adições minerais, aliados à adequação da mão de obra e de processos executivos, podem consolidar essa solução em escala nacional.

Portanto, a escolha entre CA, *whitetopping* ou compósitos cimentícios deve ser orientada por critérios técnicos, econômicos e operacionais, respeitando as particularidades de cada contexto urbano. O fortalecimento de estudos aplicados e a validação em obras são passos fundamentais para viabilizar a incorporação desses materiais em políticas públicas de infraestrutura urbana sustentável. 

► REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] HOSSAIN, M.; MANEPALLI, V. S.; RAHMAN, S.; MUSTY, H. Y. Extending pavement life using thin surfacing to counter the effect of increased truck traffic due to freight movements on highways. West Lafayette: Mid-America Transportation Center, Kansas State University, 2010. (MATC Report, 113). Disponível em: <https://digitalcommons.unl.edu/matcreports/73/>.
- [2] JI, Y.; NANTUNG, T.; TOMPKINS, B.; HARRIS, D. Evaluation for microsurfacing as pavement preservation treatment. *Journal of Materials in Civil Engineering*, Reston, v. 25, n. 4, p. 540-547, abr. 2013. DOI: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000568. Disponível em: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0000568](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000568).
- [3] KONG, F.; LI, Y.; WANG, R.; HU, X.; YU, M.; JIN, D. Road performance evaluation of preventive maintenance techniques for asphalt pavements. *Lubricants*, Basel, v. 13, n. 9, article 410, set. 2025. DOI: 10.3390/lubricants13090410. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/lubricants13090410>.
- [4] EBERHARDSTEINER, L. *et al.* Performance-based Design of Bonded *Whitetopping* Overlays. *Road Materials and Pavement Design*, v. 24, n. 11, p. 2699-2713, 2023.
- [5] DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT 068 - ES - Pavimento Rígido - Execução de camada superposta de concreto do tipo *whitetopping* por meio mecânico - Especificação de serviço. Rio de Janeiro, 2004.
- [6] KUNZ, F.O. Estudo experimental do *whitetopping* com adição de fibras sintéticas. Dissertação (Mestrado) Campinas: PUC, 2020.
- [7] RODRIGUEZ, C.A.M. Avaliação do comportamento mecânico de um ECC (Engineered Cementitious Composites) com fibras de polipropileno no recapeamento de pavimentos. Tese (Doutorado). Porto Alegre: UFRGS, 2018.
- [8] EHRENBRING, H.Z. Desenvolvimento de Engineered Cementitious Composites (ECC) autocicatrizantes com diferentes fibras poliméricas e agentes de cicatrização. Tese (Doutorado) São Leopoldo: UNISINOS, 2020.
- [9] MELLO, M.A. Degradação térmica e mecânica de geossintéticos utilizados em restauração de pavimentos flexíveis com concreto asfáltico. Dissertação (Mestrado). Natal: UFRGN, 2022.
- [10] SILVA, F.H.N.; NEVES, A.G.; SILVA, A.M. Trânsito da cidade de São Paulo: Crescimento da taxa de lentidão e do número de veículos circulantes entre 2021 e 2023. *Mobilities-Journal of Urban Mobility, Logistics and Sustainable Smart Cities*. v. 1, n. 1, p. 18-32, 2024.
- [10] ROCHA, R.S.; COSTA, E.A.L. Patologias de Pavimentos Asfálticos e suas Recuperações - Estudo de Caso da Avenida Pinto de Aguiar. Trabalho de Conclusão de Curso: Universidade Católica de Salvador: Bahia, 2009.
- [12] FORTES, R.M. Estudo da Aderência entre Concreto de Cimento Portland e Concretos Asfálticos para Fins de Reforços Ultradeltados de Pavimentos. Tese (Doutorado). São Paulo: EPUSP, 1999.
- [13] GUMURSKI, K.T.; BREKAILLO, F. O uso de *Whitetopping* na Restauração do Pavimento Flexível da Rodovia PRC-280-Estudo de Caso. *Revista Técnico-Científica*, 2025.
- [14] EHRENBRING, H.Z.; TUTIKIAN, B.F. Concreto Flexível com Fibras. Princípios, dosagem e aplicações do Engineered Cementitious Composites (ECC). São Paulo: Leud, 2024.
- [15] FREITAS JÚNIOR, A.L.; GARCEZ, M.G. Avaliação da resistência a fadiga dos Engineered Cementitious Composites (ecc), reforçados com fibra de polipropileno e produzidos com adição de cinza de casca de arroz. *Tecno-Lógica* 21.2, 2017.
- [16] BARROS, D.A. Estudo das Propriedades Mecânicas de Misturas Alternativas de ECC - Variação das Características dos Agregados. Tese (Doutorado). Porto Alegre: UFRGS, 2023.