



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR
www.rapvenacor.com.br



25º Encontro Nacional de Conservação Rodoviária (ENACOR) 48ª Reunião Anual de Pavimentação (RAPv)

ANÁLISE COMPARATIVA DE ADESIVIDADE ENTRE DIFERENTES TIPOS DE LIGANTES ASFÁLTICOS E DIFERENTES LITOLOGIAS

DOI: (a ser preenchido após o envio do código DOI da publicação)

Haline Dugolin Ceccato¹; Amanda Vielmo Sagrilo¹; Lorenzo Chaves Pacheco¹; Rinaldo José Barbosa Pinheiro¹ & Andrea Valli Nummer¹.

RESUMO

A adesividade agregado-ligante, quando insatisfatória, tem a capacidade de diminuir a vida útil dos pavimentos asfálticos. Diversas pesquisas já constataram que o ligante asfáltico convencional (CAP 50/70) pode não proporcionar a adesão adequada na mistura asfáltica quando agregados ácidos estão presentes, devido à fraca interação entre eles. Uma alternativa para aprimorar essa propriedade é a utilização de um aditivo melhorador de adesividade, garantindo uma maior qualidade e durabilidade da mistura. Por isso, o objetivo deste estudo foi investigar a interação entre três tipos distintos de agregados (rocha vulcânica, rocha plutônica e rocha metamórfica), levando em consideração as propriedades físico-química, desses agregados em combinação com um ligante asfáltico convencional (CAP 50/70) e outros três ligantes modificados (AMP 60/85, asfalto Borracha – AB8 e *Highly Modified Asphalt* – HiMA – AMP 65/90-E). Como principais resultados, observou-se que, para o ligante CAP 50/70, todos os tipos de agregados apresentaram adesividade insatisfatória, embora em níveis diferentes. Essa avaliação foi realizada com base na escala de classificação visual de Brondani et al. (2022). No entanto, foram observadas melhorias na adesividade com o uso do ligante borracha (AB8) e modificado por polímero 60/85, alcançando resultados mais satisfatórios e a melhor adesão se deu com o ligante HiMA, que demonstrou excelente resultados independentes da litologia do agregado.

PALAVRAS-CHAVE: Adesão; agregado-ligante; adesividade;

ABSTRACT

The aggregate-binder adhesion, when unsatisfactory, has the capacity to reduce the lifespan of asphalt pavements. Several studies have already stated that the conventional asphalt binder (CAP 50/70) may not provide adequate adhesion in the asphalt mixture when acidic aggregates are used, due the weak interaction between them. An alternative to improve this property is the use of an adhesive improver additive, ensuring higher quality and durability of the mixture. Therefore, the objective of this study was to investigate the interaction between three different types of aggregates (volcanic rock, plutonic rock and metamorphic rock), considering its physicochemical properties in combination with a conventional asphalt binder (CAP 50/ 70) and three other modified binders (AMP 60/85, Rubber Asphalt – AB8 and Highly Modified Asphalt – HiMA – AMP 65/90-E). As main results, it was observed that, for the binder CAP 50/70, all types of aggregates showed unsatisfactory adhesion, although at different levels. This evaluation was performed based on the visual classification scale by Brondani et al. (2023). However, improvements in adhesiveness were observed with the use of rubber binder (AB8) and modified by polymer 60/85, achieving more satisfactory results and the best adhesion occurred with the binder HiMA, which demonstrated excellent results independent of the lithology of the aggregate.

KEY WORDS: Adhesion; binder-aggregate; adhesiveness;

¹ Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, Brasil, haline.ceccato@gmail.com; amandavs94@gmail.com; lorenzochaves70@gmail.com; rinaldo@ufsm.br; a.nummer@gmail.com



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



INTRODUÇÃO

A perda de adesão entre o agregado e o ligante está associado a quatro fatores principais: incompatibilidade entre a composição mineralógica do agregado e a constituição físico-química do material betuminoso, textura da superfície (rugosidade), presença de umidade e ocorrência de impurezas na superfície do agregado (TOMPKINS, 1972; HARTLEY, 1974; IBRAHIM et al., 1998; SMITH e COLLIS, 2001; HEFER e LITTLE, 2005; BAGAMPADDE et al., 2006; ABO-QUADIS e AL-SHWEILY, 2007; BRONDANI, 2018; CECCATO, 2021). O uso de diferentes tipos de ligantes pode contribuir para uma melhor adesividade entre o agregado e o ligante, reduzindo a ocorrência de algumas patologias que podem afetar os pavimentos.

No Brasil, os três principais tipos de ligantes asfálticos normalizados e utilizados são: CAP 50/70, o asfalto modificado por polímeros e o asfalto modificado por borracha. O CAP 50/70 é obtido por destilação do petróleo, trata-se de um material termoplástico adesivo, aglutinante com propriedades impermeabilizantes e flexibilidade. Possui características e consistência adequadas para uso na construção e manutenção de pavimentos (NOGUEIRA, 2008).

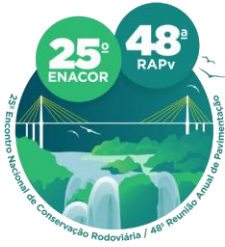
O asfalto modificado por polímeros – AMP 60/85 é um tipo especial de ligante asfáltico obtido através da adição de polímeros elastoméricos sintéticos, que podem ou não envolver uma reação química. Os polímeros comumente utilizados incluem o SBS (copolímero de estireno-butadieno), o SBR (borracha de butadieno-estireno) e o RET (copolímero de etileno-acoplados). A modificação resulta em asfaltos com propriedades superiores aos convencionais, principalmente em relação à minimização de falhas comuns em pavimentos, como deformação permanente e trincamento por fadiga. Isso proporciona uma vida útil mais longa aos revestimentos asfálticos (POLCARO, 2006).

No caso do asfalto-borracha, a utilização de borracha moída de pneus no asfalto traz melhorias significativas nas propriedades e no desempenho do revestimento asfáltico. Especificamente, resulta no aumento da resistência à deformação e na redução do aparecimento de trincas por fadiga no pavimento (ODA; JUNIOR, 2001).

Outro ligante, porém, no Brasil não normalizado, por isso, é pouco utilizado é o *Highly Modified Asphalt* (HiMA) – 65/90-E. O ligante HiMA é resultado de uma modificação mais intensa do ligante convencional através da adição de uma quantidade aproximadamente duas vezes maior de polímero SBS. Devido ao alto teor de polímero, o SBS forma uma fase contínua no ligante, o que melhora significativamente o desempenho em termos de deformação permanente e fadiga.

Nos últimos anos, numerosos estudos foram realizados sobre os fatores de influência da interação ligante asfáltico-agregado (J. ZHANG ET AL., 2019; Y. BI ET AL., 2020; B. XING ET AL., 2022). No entanto, a maioria desses estudos é baseada em mástique asfáltico formado por ligante asfáltico e filler, os estudos em escalas macroscópicas na interface ligante asfáltico-agregado são limitados e sua correlação não é clara. Portanto, investigações ainda são essenciais para esclarecer o padrão de materiais e fatores ambientais que afetam o desempenho da ligação da interface ligante-agregado asfáltico. Ademais, os ensaios de adesividade são, geralmente, limitados ao uso do ligante convencional, de modo que é relevante expandir esses ensaios a outros tipos de ligantes que já são amplamente empregados nas malhas rodoviárias.

Dada a importância na relação agregado-ligante asfáltico, que quando insatisfatória tem a capacidade de diminuir a vida útil dos pavimentos asfálticos e sabendo que essa relação está associada a diversos fatores, o objetivo desta pesquisa foi estudar a interação entre três diferentes tipos de agregado sob a óptica das propriedades físico-química dos agregados com um ligante convencional e com outros três ligantes modificados.



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



METODOLOGIA

O presente estudo comparou a adesividade de três tipos diferentes de rochas: vulcânica, plutônica e metamórfica (Figura 1). Além disso, utilizou quatro ligantes asfálticos diferentes: CAP 50/70, Ligante Asfáltico modificado por polímero AMP 60/85, ligante asfáltico modificado por borracha e HiMA. A avaliação da adesividade foi realizada de forma qualitativa, utilizando o método DNER-ME 78/94 e quantitativa (Figura 2), através da metodologia proposta por Brondani et al. (2022).



Figura 1. Materiais rochosos utilizados na pesquisa.



Figura 2. Ranking de adesividade visual. (adaptado de BRONDANI et al. (2022).

Para a condução dos ensaios, foram separados 500g de amostra de agregado passante na peneira de abertura 19 mm e retido na peneira de 12,7 mm, que foi lavada e seca em estufa. Os ligantes foram aquecidos separadamente. Logo após o processo de secagem e aquecimento, foram utilizados 17,5 g do ligante e misturado juntamente com o agregado, conforme Figura 3A, na sequência, após o esfriamento, o material foi coberto por água destilada e colocado na estufa a 40°C, onde permaneceu em repouso por 72 horas (Figura 3B). Após esse período, deu-se início às análises qualitativas e quantitativas do agregado ao ligante (Figura 3C).



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



A) Processo de mistura do ligante asfáltico com agregado.



B) Agregado sendo recoberto por água destilada.

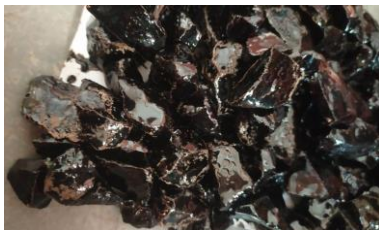


C) Avaliação qualitativa e quantitativa.

Figura 3. Procedimentos adotados durante o ensaio.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 4 apresenta as imagens dos agregados após a realização do ensaio de adesividade com o ligante CAP 50/70. O ensaio descrito pela DNER-ME 78/94 tem como limitação a apresentação de resultado qualitativo, ou seja, se o recobrimento for completo, admite-se a adesividade como satisfatória, caso contrário, o resultado é caracterizado como insatisfatório. O ensaio demonstrou que o resultado foi insatisfatório, independente da litologia. Embora não possa ser considerado seu uso sem aditivo, nota-se diferentes níveis de cobertura de filme asfáltico no agregado. Portanto, com base em uma avaliação visual da área recoberta pelo ligante, o ensaio foi avaliado quantitativamente, conforme metodologia proposta por Brondani et al. (2022).



A) SUL – Vulcânica.
25



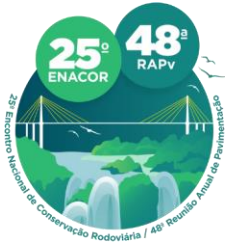
B) MIN – Plutônica.
15



C) VOG – Metamórfica.
10

Figura 4. CAP 50/70.

A interação entre o ligante CAP 50/70 e os agregados utilizados neste estudo resulta em desempenho insatisfatório devido, principalmente à composição mineralógica e aspectos texturais (rugosidade), dos agregados. Foram analisados outros três tipos de ligantes para determinar qual seria o mais adequado para cada uma das pedreiras. Na Tabela 1, são apresentadas a avaliação visual de acordo com a norma DNER-ME 78/94, assim como, o valor obtido pelo ranking visual desenvolvido por Brondani et al. (2022). Os círculos em vermelho indicam as porções no qual a falta de adesão agregado-ligante pode ser observada.



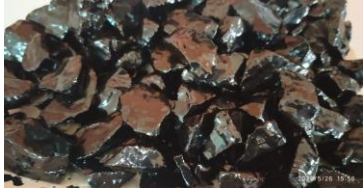

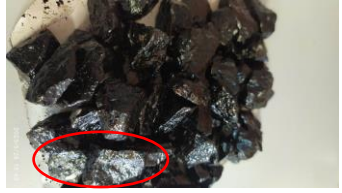
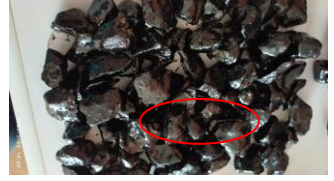

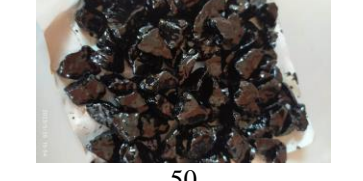


19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



Tabela 1. Resultados de adesividade com ligante modificado.

Pedreira	Ligante		
	AMP 60/85	Asfalto Borracha – AB8	HiMA
SUL	 50 Satisfatório	 45 Insatisfatório	 50 Satisfatório
MIN	 25 Insatisfatório	 40 Insatisfatório	 50 Satisfatório
VOG	 30 Insatisfatório	 40 Insatisfatório	 50 Satisfatório

A literatura aponta alguns mecanismos que tentam explicar adesão na interface agregado-ligante asfáltico, tais como: adesão mecânica; reação química; energia de superfície; e, orientação molecular. Faz-se importante salientar que esses mecanismos podem agir individualmente ou simultaneamente, nesse último caso, torna-se muito difícil diferenciar qual deles agiu de maneira predominante para a perda da adesividade. Neste viés, nota-se que a pedreira SUL apresentou resultado satisfatório tanto com uso do ligante modificado por polímero (AMP 60/85) quanto com o HiMA. Por sua vez, para as pedreiras MIN e VOG, a melhor adesão foi obtida apenas com o uso do HiMA. Ademais, as três pedreiras apresentaram resultados insatisfatórios com o uso do ligante modificado por borracha (AB8).

Em relação a viscosidade do ligante asfáltico, pode-se inferir que o ligante HiMA apresenta comportamento superior em relação aos demais, o que pode justificar a melhor resistência aos danos causados pela umidade pós o ensaio. Isso se deve ao fato de o aglutinante de alta viscosidade poder fornecer uma forte força de adesão entre o aglutinante asfáltico e o agregado.

Além do tipo de agregado e da mineralogia, as características geométricas do agregado, como forma, angularidade e textura, influenciam na interação entre o ligante asfáltico e o agregado para misturas asfálticas. De modo geral, reconhece-se na literatura que os agregados com características cúbicas rugosas apresentarão desempenho melhor do que os agregados com características cúbicas



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



lisas. Em detalhes, alguns pesquisadores propuseram que a textura superficial do agregado é o principal fator que afeta a propriedade de adesão do asfalto-agregado.

Partindo dessa premissa, é observado na interface do agregado-ligante borracha que, para as rochas plutônicas (MIN) (Figura 5A) e metamórficas (VOG) (Figura 5B) o problema da adesividade é presente nas faces dos agregados, o que pode estar neste caso, associado a textura (rugosidade) dessas litologias, pois sabe-se que, quanto maior a rugosidade, melhor a aderência entre o agregado-ligante. Já para os agregados de origem vulcânica (SUL), a falta de cobertura foi inferior, porém, a falta de aderência está presente nas arestas dos agregados (Figura 5C), sinalizando que o ligante não conseguiu se aderir em áreas pequenas como as arestas. Ainda que a modificação por borracha tenha melhorado a adesividade em comparação com o ligante convencional e a química do agregado fosse favorável, percebe-se a relevância do polímero SBS na adesividade. Outro fator que pode ter influenciado a adesividade insatisfatória do asfalto borracha é a viscosidade do material, pois as partículas sólidas de borracha dispersas no ligante podem não ter se aderido perfeitamente à textura dos grãos.



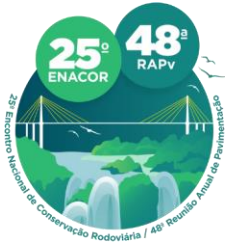
Figura 5. Adesão agregado-ligante modificado por borracha (AB8).

Embora o uso do ligante modificado por polímero (AMP 60/85) mostrou ser satisfatório apenas para a pedra SUL, nota-se que adesão ligante-agregado apresentou uma melhora para as demais pedreiras. Além disso, foi observado que na adesividade com CAP 50/70 o ligante ficou disposto no agregado em formas de “gotículas” o que mostra uma grande repulsão entre o agregado-ligante (Figura 6A). Já para o ligante modificado por polímero (AMP 60/85), a perda de cobertura se deu em formato de teia, mostrando uma melhora na aderência entre ligante-agregado (Figura 6B).



Figura 6. Perda de cobertura agregado-ligante.

Os resultados mostraram que o desempenho do ligante asfáltico pode ser significativamente melhorado por agentes modificadores, e, conseqüentemente, o desempenho da mistura asfáltica será melhorado, devido a maior adesão entre o agregado e o ligante asfáltico. Por conseguinte, as



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



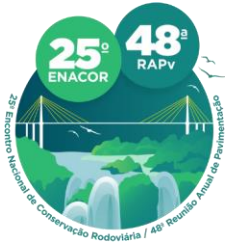
misturas asfálticas com ligantes modificados têm menos suscetibilidade à umidade e melhor resistência a danos causados por ela.

CONCLUSÕES

Embora o presente estudo não tenha abrangido um número significativo de amostras de rochas, acredita-se que a análise realizada com três litologia distintas (vulcânica, plutônica e metamórfica) e quatro tipos de ligantes diferentes (CAP 50/70, modificado por polímero 60/85, ligante borracha e HiMA) tenha fornecido uma contribuição significativa, expandindo as análises de adesividade à outros ligantes, aliados a substratos de composição química e texturas diferentes.

Além da composição mineralógica e constituição físico-química, a textura da superfície (rugosidade) e a presença de umidade, desempenham um papel importante na adesividade. Tanto a perda de adesão entre o ligante a superfície do agregado (fratura adesiva) quanto a fratura do próprio filme de ligante (fratura coesiva) são pontos de partidas para o surgimento de defeitos nos pavimentos, como trincamento por fadiga e a deformação permanente, entre outros. Portanto, quando a adesividade entre o agregado e o ligante é insatisfatória, isso pode reduzir significativamente a vida útil dos pavimentos asfálticos. Isto posto, ressalta-se algumas contribuições deste estudo:

- De modo geral, as três litologias apresentaram má compatibilidade (adesividade insatisfatória) com o CAP 50/70, entretanto, a adesão ocorreu de modo particular a cada rocha, isso se deve principalmente às características químicas, principalmente acidez e texturais de cada material;
- Foi observada uma melhoria na adesão ao utilizar o ligante modificado por polímero (AMP 60/85) em todos os materiais abordados, nas rochas de origem plutônica e metamórfica. No entanto, para os agregados de origem vulcânica, a adesão já apresentou um comportamento satisfatório, demonstrando o importante papel do aditivo modificador por polímero não só quanto à fadiga e a deformação permanente de misturas, mas elevando a interação agregado-ligante;
- No caso da adesividade utilizando o asfalto borracha, todas as litologias apresentaram resultado insatisfatório. No entanto, as rochas de origem plutônica e metamórfica, a falta de adesão foi mais evidente na face dos agregados, enquanto na rocha vulcânica, foi observada principalmente nas arestas. Isso ressalta a importância de analisar a textura da rocha para compreender melhor os padrões de adesão. Além disso, a viscosidade do ligante também pode exercer um papel importante na interação, dado o equilíbrio das partículas sólidas (borracha) e líquidas do ligante;
- Foi observado que o ligante modificado HiMA apresentou uma melhor adesão independente da litologia. No entanto, vale ressaltar que, seu uso no Brasil ainda é pouco empregado devido à falta de normas específicas que regulamentem sua utilização; e
- O ranking visual demonstrou ser uma ferramenta eficaz para avaliar quantitativamente a área de agregado recoberta pelo ligante asfáltico após o ensaio de adesividade. Essa abordagem permitiu uma análise precisa e objetiva dos resultados, fornecendo uma medida mais confiável do desempenho da adesão entre o ligante e o agregado. Permitindo uma



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



classificação gradativa dos materiais, de modo que a avaliação não seja somente entre insatisfatório e satisfatório, o que desconsidera as particularidades de cada material.

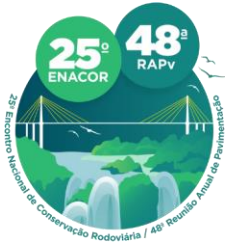
Essa análise permitiu inferir que, a adesão agregado-ligante nem sempre está associada a um único fator, mas sim a uma combinação de diversos elementos. Portanto, a próxima etapa de estudo desta temática é a caracterização quanto a adesividade de agregados de outras origens litológicas, dada a grande variabilidade de formações rochosas na região Sul do país, a fim de obter um banco de dados quanto a adesividade e buscar correlações com as propriedades dos materiais, como textura, composição e forma.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CAPES pelo fomento à pesquisa e às bolsas de pesquisa. Ao Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC), o Grupo de Estudo e Pesquisa em Pavimentação (GEPPASV) e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC) da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, pelo suporte oferecido.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABO-QUADAIS S, AL-SHWEILY H. Effect of aggregate properties on asphalt mixtures stripping and creep behavior. *Constr Build Mater* 21:1886–1898, 2007.
- BAGAMPADDE U, ISACSSON U, KIGGUNDU, B.M. Impact of bitumen and aggregate composition on stripping in bituminous mixtures. *Mater Struct* 39:303–315, 2006.
- BI, Yanqiu et al. Evaluation of rheological master curves of asphalt mastics and asphalt-filler interaction indices. *Construction and Building Materials*, v. 265, p. 120046, 2020.
- BRONDANI, C. Estudo do efeito deletério da água em misturas asfálticas a quente produzidas no Rio Grande do Sul. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Dissertação de Mestrado, 2019.
- BRONDANI, C; FACCIN, C.; SPECHT, L. P.; NUMMER, A. V.; DA SILVA PEREIRA, D.; VESTENA, P. M. BARONI, M. Evaluation of Moisture Susceptibility of Asphalt Mixtures: Influence of Aggregates, Visual Analysis, and Mechanical Tests. *JOURNAL OF MATERIALS IN CIVIL ENGINEERING*, v. 35, p. 1-13, 2022.
- CECCATO, H. C. Avaliação e caracterização do comportamento geomecânico de agregados oriundos de jazidas da região sudeste do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Dissertação de Mestrado, 2021.
- DNER. Agregado Graúdo – Adesividade a ligante betuminoso - DNER-ME 78/94. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Rio de Janeiro, 1994.
- HARTLEY, A. A review of the geological factors influencing the mechanical properties of road surface aggregates. *Q J Eng Geol* 7:69–100, 1974.
- HEFER AW, LITTLE D. Adhesion in bitumen-aggregate systems and quantification of the effects of water on the adhesive bond. ICAR project no. ICAR 505:220. International Center for Aggregates Research, Austin, 2005.
- IBRAHIM H, WAHHAB A A, HASNAINT, J. Laboratory study of asphalt concrete durability in Jeddah. *Build Environ* 33:219–230, 1998.
- NOGUEIRA, G. M. Comparação do comportamento em campo de concretos asfálticos com CAP30-45 e com CAP 50-70 para revestimentos de pavimentos. São Paulo. Dissertação (Mestrado)- Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Pag 29, 2008.



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



ODA, S. Análise da Viabilidade Técnica da Utilização de Ligante Asfalto-Borracha em Obras de Pavimentação. Tese de Doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2000.

ODA, S.; JÚNIOR FERNANDES, J. L. Borracha de pneus como modificador de cimentos asfálticos para uso em obras de pavimentação. Maringá, v. 23, n. 6, p. 1589-1599, 2001.

POLCARO, D.N. Estudo de asfaltos modificados por polímeros do tipo RET para aplicações em pavimentos. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP), 2006.

SMITH MR, C. L. Aggregates: sand, gravel and crushed rock aggregates for construction purposes. Engineering Geology Special Publication. Geological Society, London, p 360, 2001.

TOMPKINS, D. G. Durability and adhesive properties of bitumen– aggregate mixes. Bituminous materials for flexible pavements, residual course. Department of Civil Engineering, University of Nottingham, Nottingham, p 5, 1972.

XING, Baodong et al. Particle morphology of mineral filler and its effects on the asphalt binder-filler interfacial interaction. Construction and Building Materials, v. 321, p. 126292, 2022.

ZHANG, Jiupeng et al. Effects of material characteristics on asphalt and filler interaction ability. International Journal of Pavement Engineering, v. 20, n. 8, p. 928-937, 2019.