

UTILIZAÇÃO DE MATERIAL FRESADO EM MISTURAS ASFÁLTICAS: UMA REVISÃO INTEGRATIVA

Osires de Medeiros Melo Neto ¹
Gustavo Correia Basto da Silva ²
Lêda Christiane de Figueirêdo Lopes Lucena ³

RESUMO

Esta pesquisa trata-se de uma revisão integrativa da literatura que teve como objetivo buscar artigos que exemplificassem e descrevessem ações que apresentaram resultados positivos na adição de material fresado e agentes rejuvenescedores em misturas asfálticas. Para a coleta de dados foram utilizadas as bases SCIELO e ScienceDirect. Inicialmente, foram encontrados 346 artigos. Desses, apenas 25 artigos abordavam aspectos relacionados à utilização de material fresado e apresentaram sucesso em seu uso. Estudos apontam obstáculos para o uso de material fresado como elevadas temperaturas de mistura e alteração do teor ótimo do ligante asfáltico, mas que práticas pautadas em composição de material fresado com agentes rejuvenescedores têm ganhado visibilidade. As misturas asfálticas modificadas com o emprego de óleos, polímeros e ácidos apresentaram bom desempenho mecânico. A adição de agentes rejuvenescedores compostos nas misturas asfálticas recicladas reduzem a rigidez e demonstram melhor resistência à fadiga em comparação à mistura reciclada sem aditivos.

Palavras-chave: Agentes Rejuvenescedores, Mistura Reciclada, RAP.

INTRODUÇÃO

A utilização crescente de asfaltos reciclados em camadas de pavimentos tem sido um reflexo da demanda por práticas mais sustentáveis no âmbito da pavimentação. A fresagem de pavimentos asfálticos fornece um material de valor econômico, com propriedades físicas e mecânicas satisfatórias, e que podem ser introduzidas na composição de novas misturas asfálticas (CUNHA et al., 2018). As principais vantagens ambientais na utilização de asfalto reciclado incluem a economia de recursos e a economia de espaço no aterro, assim como redução de custos na fabricação de misturas asfálticas à quente (KUEHL et al., 2016).

A poluição ambiental devido ao processo de pavimentação de rodovias pode ser reduzida reciclando a mistura de asfalto (SUSANTO et al., 2019). No processo de reciclagem

¹ Mestrando do Curso de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, osiresdemedeiros@gmail.com;

² Doutorando do Curso de Odontologia da Universidade Estadual da Paraíba - UEPB, gugacorreiaa@gmail.com;

³ Professor orientador: Doutora, Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, ledach@uol.com.br.

à quente, a antiga pavimentação é fresada, processada e combinada com novo aglutinante virgem, agregado e/ou agente de reciclagem na usina de asfalto. Os elementos principais das misturas recicladas são os agregados fresados, que podem ser empregados em teores variados e até de forma integral, com adição de ligante asfáltico virgem e os agentes rejuvenescedores (KLAMT et al., 2018). Entretanto, a quantidade elevada de RAP exige altas temperaturas durante a produção e a construção de rodovias e, portanto, causa ameaça à saúde dos trabalhadores de pavimentação de asfalto (FAROOQ; MIR, 2017).

A fresagem remove uma ou mais camadas de uma superfície de pavimento existente (GUNGAT et al., 2019). Ao usar o asfalto fresado na construção de rodovias, ele deve atender aos requisitos de materiais virgens e seu desempenho deve ser igual ou superior que a mistura convencional comumente utilizada. As propriedades de misturas asfálticas com elevado teor de asfalto fresado, acima de 30%, podem ser melhoradas modificando a mistura com adição de um ligante mais macio e incorporando rejuvenescedores (SONG; HUANG; SHU, 2018).

A fiscalização sobre a destinação do material asfáltico fresado dos pavimentos, assim como de outros exercícios construtivos é estabelecida, no Brasil, pela Resolução nº 307 de 5 de julho de 2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), que determina leis e diretrizes de gestão de resíduos, enfatizando que todo órgão gerador de resíduos tenha um programa de gestão desta matéria, a fim de minimizar os impactos ambientais (CUNHA et al., 2018).

O reaproveitamento de material asfáltico fresado torna-se um tema importante pois, ao diminuir o desperdício de materiais, há conservação do meio ambiente, bem como economia de jazidas naturais devido à redução de exploração destas e, redução dos custos dos pavimentos (KLAMT et al., 2018). Para a produção de misturas de asfalto recicladas com alta percentagem de asfalto fresado, são necessários agentes rejuvenescedores e devem ser rigorosamente selecionados (ZHANG et al., 2020). A aplicação de alta quantidade de asfalto fresado em misturas asfálticas pode ser realizada por meio da adição de vários rejuvenescedores de betume (LU; SALEH; NGUYEN, 2019).

O envelhecimento do asfalto tende a tornar o ligante de asfalto mais rígido, mais quebradiço e, portanto, mais suscetível a danos por fadiga devido ao tráfego e às cargas térmicas (BAGHAE MOGHADDAM; BAAJ, 2016). O efeito de amolecimento dos rejuvenescedores de misturas asfálticas, geralmente, melhora as propriedades à baixa temperatura do ligante de asfalto recuperado, mas tem um efeito negativo na resistência ao sulco a altas temperaturas, sendo necessário otimizar o tipo e o conteúdo dos rejuvenescedores de betume para equilibrar

as propriedades relevantes do aglutinante (ARÁMBULA-MERCADO et al., 2018). Elkashef e Williams (2017) constataram que 6% a 12% do rejuvenecedor derivado de soja pode melhorar as propriedades de fadiga e baixa temperatura dos ligantes extraídos de asfaltos fresados. Misturas de asfalto recuperado 100% rejuvenescidas utilizando um ligante modificado com soja mostraram um aumento na energia de fratura.

Hong et al. (2020) desenvolveram na China um estudo de rejuvenescimento de ligante asfáltico envelhecido utilizando um rejuvenecedor composto, contendo 77% de óleo aromático e 23% de polímero SBS. O óleo aromático foi utilizado para fins de rejuvenescimento devido ao seu efeito amolecedor, enquanto o polímero SBS foi usado para fins de modificação devido ao seu potencial de formar uma rede de polímeros. Os resultados dos ensaios reológicos dos ligantes modificados mostraram que o uso do rejuvenecedor composto melhorou o ponto de amolecimento e a ductilidade para o asfáltico envelhecido. O efeito de amolecimento no ligante asfáltico foi gerado pelo óleo aromático, o que melhorou o desempenho em baixas temperaturas, mas enfraqueceu o desempenho a altas temperaturas. Contudo, a incorporação do polímero SBS foi um bom complemento para equilibrar o desempenho geral dos ligantes envelhecidos. Portanto, o rejuvenecedor composto pode ser bastante eficaz para a recuperação a quente da mistura de asfalto recuperado por meio de rejuvenescimento e modificação simultaneamente.

Com base no exposto, objetiva-se determinar a eficácia da utilização de material fresado, assim como a eficiência da adição dos agentes rejuvenecedores ao ligante asfáltico, em misturas asfálticas.

METODOLOGIA

Esta pesquisa constitui uma revisão bibliográfica de caráter analítico acerca da utilização de material fresado em misturas asfálticas modificadas com uso de agentes rejuvenecedores.

A coleta de dados foi realizada no período de 15 de abril a 05 de maio de 2020, e utilizou-se para a pesquisa as bases de dados Scientific Eletronic Library Online (SCIELO) e ScienceDirect. Foi definido como critério de inclusão: artigos publicados entre os anos de 2015 e 2020, pois levantamentos iniciais identificaram que no período anterior a 2015 há escassez de artigos que descrevem com maior detalhamento a utilização do material fresado e seu comportamento frente aos ensaios reológicos e mecânicos. Desse modo, optou-se pelo período

entre 2015 e 2020 por acreditar que o número de produções científicas no âmbito da Engenharia Civil tem aumentado nos últimos cinco anos. Outro critério a considerar diz respeito aos descritores em engenharias. Os artigos mencionados nesta pesquisa apresentaram descritores como: Material Fresado, Misturas Recicladas, Agentes Rejuvenescedores, suas combinações e variantes em inglês.

Para as pesquisas nas bases SCIELO e ScienceDirect, não foi limitado idioma no esforço de obter quantidade relevante de referencial teórico, contudo, foi detectado que as publicações em inglês eram as que mais apresentavam informações pertinentes ao estudo. A princípio, se deu a busca de artigos científicos que se adequassem aos critérios de inclusão nas bases SCIELO e ScienceDirect com os descritores Milled Mixture e Rejuvenating. Como resultados, foram obtidos 40 artigos na SCIELO, dos quais apenas 7 estavam de acordo com este estudo. Na ScienceDirect, dos 306 artigos encontrados, foram selecionados 18 artigos.

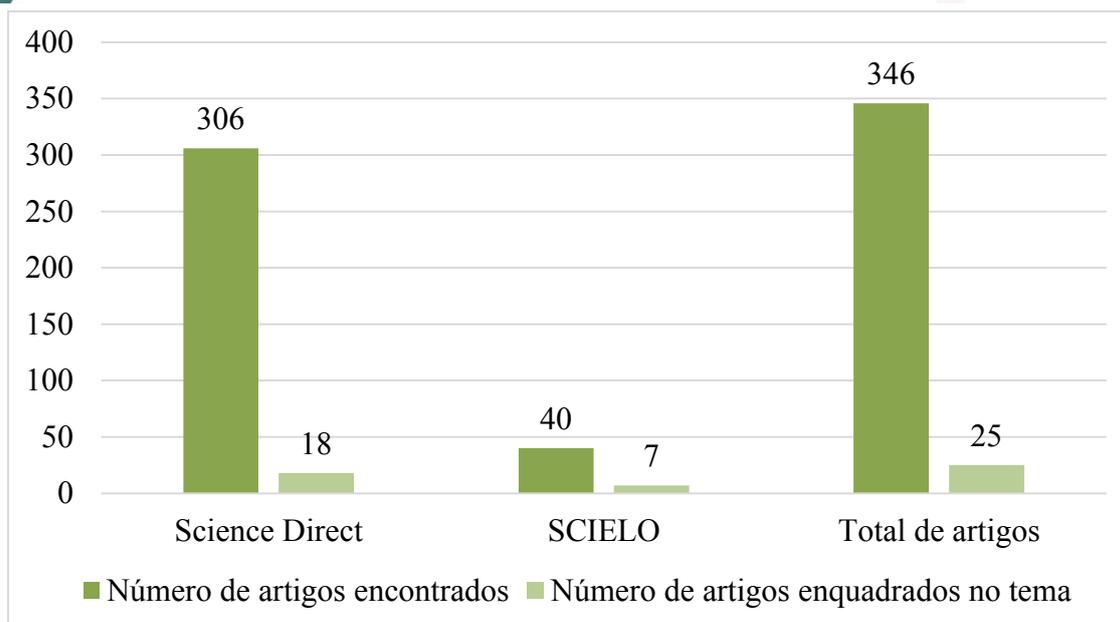
Após a seleção dos artigos conforme os critérios de inclusão previamente definidos, foram seguidos, nessa ordem, as etapas: leitura exploratória; leitura seletiva e escolha dos materiais que se adequam aos objetivos e tema deste estudo; leitura analítica e análise dos textos, finalizando com a realização de leitura interpretativa e redação.

Em seguida, constitui-se um corpus da pesquisa agrupando os temas mais abordados nas seguintes categorias: uso de material fresado, uso de óleos vegetais como rejuvenescedores, uso de polímeros como rejuvenescedores e rejuvenescedores compostos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dos 346 artigos encontrados na busca inicial, foram selecionados 25 artigos para leitura e fechamento. A Figura 1 apresenta os números de artigos encontrados em cada base de dados, assim como o número total desses.

Figura 1 – Número de artigos nas bases de dados



Fonte: Autores (2020)

Os artigos selecionados referem--se a publicações nacionais e internacionais a fim de expor pesquisas realizadas em países desenvolvidos. As publicações em inglês foram em maior número, devido aos estudos sobre o tema serem primeiramente desenvolvidos no exterior. A Tabela 1 apresenta os artigos avaliados neste estudo.

Tabela 1 – Artigos utilizados na pesquisa com seus respectivos anos de publicação

Autores	Título do artigo	Ano de Publicação
ZAUMANIS; MALLICK	Review of very high-content reclaimed asphalt use in plant produced pavements: state of the art.	2015
BAGHAEE MOGHADDAM; BAAJ	The use of rejuvenating agents in production of recycled hot mix asphalt: a systematic review.	2016
Jl,et al.	Effectiveness of vegetable oils as rejuvenators for aged asphalt binders.	2016
KUEHL, et al.	Synthesis of recycled asphalt pavement (RAP) material.	2016



SEGUNDO, et al.	Misturas asfálticas recicladas a quente com incorporação de elevado percentual de fresado como alternativa para camada de módulo elevado.	2016
DOKANDARI; KAYA; SENGOZ; TOPAL	Implementing Waste Oils with Reclaimed Asphalt Pavement Proceedings.	2017
ELKASHEF; WILLIAMS	Improving fatigue and low temperature performance of 100% RAP mixtures using a soybean-derived rejuvenator.	2017
FAROOQ; MIR	Use of reclaimed asphalt pavement (RAP) in warm mix asphalt (WMA) pavements: a review.	2017
HAMZAH; GUNGAT; GOLCHIN	Estimation of optimum binder content of recycled asphalt incorporating a wax warm additive using response surface method.	2017
NABIZADEH, et al.	Effects of rejuvenators on high-matrix (FAM) mixtures.	2017
PORTUGAL, et al.	Rheological performance of soybean in asphalt binder modification.	2017
ARÁMBULA- MERCADO, et al.	Evaluation of recycling agent dosage selection and incorporation methods for asphalt mixtures with high RAP and RAS contents.	2018
ARSHAD, et al.	Performance Evaluation of Hot Mix Asphalt with Different Proportions of RAP Content.	2018
CUNHA, et al.	Avaliação de concreto asfáltico usinado a quente com incorporação de material fresado.	2018
ELKASHEF; WILLIAMS; COCHRAM	Physical and chemical characterization of rejuvenated reclaimed asphalt pavement (RAP) binders using rheology testing and pyrolysis gas chromatography-mass spectrometry.	2018

GROSSEGGER, et al.	Influence of rheological and physical properties of heat-induced self-healing of asphalt mastic beams.	2018
KLAMT, et al.	Estudo da utilização da reciclagem de concreto asfáltico como camada de pavimento.	2018
SONG; HUANG; SHU	Influence of warm-mix asphalt technology and rejuvenator on performance of asphalt mixtures containing 50% reclaimed asphalt pavement.	2018
XU, et al.	Self-Healing Asphalt Review: From Idea to Practice.	2018
GUNGAT, et al.	Design and properties of high reclaimed asphalt pavement with RH-WMA.	2019
IDHAM, et al.	Effect of different rejuvenating agents on the mechanical performance of recycled bituminous mixture.	2019
LU; SALEH; NGUYEN	Effect of rejuvenator and mixing methods on behavior of warm mix asphalt containing high RAP content.	2019
SUSANTO, et al.	Influence of amount of reclaimed asphalt pavement and asphalt using warm mix asphalt method on asphalt concrete wearing course.	2019
HONG, et al.	Investigation of rejuvenation and modification of aged asphalt binders by using aromatic oil-SBS polymer blend.	2020
ZHANG, et al.	Influence of different rejuvenating agents on rheological behavior and dynamic response of recycled asphalt mixtures incorporating 60% RAP dosage.	2020

Fonte: Autores (2020)

Os resultados deste estudo apontam que o uso de material fresado em misturas asfálticas tem crescido exponencialmente nos últimos anos por conta dos resultados positivos em suas análises. A utilização de pavimento reciclado iniciou-se em meados da década de 1970, por conta do crescimento significativo nos valores do asfalto gerado com o embargo do petróleo árabe (GUNGAT, et al., 2019). As pesquisas atuais têm focado no uso de uma quantidade maior do material fresado em misturas asfálticas, visando minimização de gastos e maximização na reciclagem de resíduos.

Desse modo, com base nas informações encontradas, nos 25 artigos selecionados, foram discutidos os entraves que prejudicam a utilização de material fresado em misturas asfálticas, assim como as características que garantem efetividade em seu uso e os aditivos que apresentaram resultados positivos no rejuvenescimento desse material.

Entraves na utilização de material fresado

Os asfalto e agregados são geralmente misturados a altas temperaturas para serem empregados na construção de rodovias. A mistura asfáltica à quente requer alta energia e pode poluir o meio ambiente devido aos gases de escape da combustão (SUSANTO, et al., 2019). O conteúdo de RAP (asfalto fresado) quando adicionado às misturas asfálticas exige altas temperaturas durante a produção e a construção de estradas e, portanto, causa ameaça à saúde dos operários desse âmbito (GUNGAT, et al., 2019).

O RAP consiste em ligante asfáltico envelhecido e agregados que levam à fissuração do pavimento, afetando sua capacidade de manutenção, ou seja, o envelhecimento aumenta a rigidez da mistura asfáltica fazendo com que não resista à fadiga (IDHAM, et al., 2019). Fatores ambientais, como o envelhecimento oxidativo do ligante asfáltico e o dano causado pela umidade, reduzem a capacidade resiliente das misturas asfálticas, tornando-as mais frágeis ao longo dos anos de serviço e, portanto, mais suscetíveis à fadiga (XU et al., 2018). Ao usar o RAP na construção de estradas, ele deve atender aos requisitos do DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes) de materiais virgens e seu desempenho deve ser pelo menos igual ou melhor que a mistura asfáltica convencional. Os materiais RAP precisam ser caracterizados adequadamente para garantir a qualidade do desempenho resultante da mistura. O RAP precisa ser processado e rastreado em vários tamanhos antes de ser misturado com um aglutinante virgem (GUNGAT, et al., 2019).

Quando o RAP é misturado com materiais virgens, a adição de RAP altera as propriedades volumétricas e mecânicas das misturas resultantes e, portanto, afeta o teor ótimo de ligante (HAMZAH; GUNGAT; GOLCHIN, 2017). Algumas preocupações ao utilizar alto conteúdo de RAP são o baixo desempenho de temperatura e trincas por fadiga, porque a rigidez da mistura de asfalto pode aumentar drasticamente com a inclusão de RAP (ZAUMANIS; MALLICK, 2015).

Estudos na Europa e nos Estados Unidos concluíram que mais de 80% do material reciclado é reutilizado na construção de estradas, mas os regulamentos ainda são rigorosos ao permitir a inclusão do RAP em proporções que variam entre 5 e 50% para a produção de novas misturas asfálticas (ARSHAD, et al., 2018). A principal preocupação com o aumento das porcentagens admissíveis de agregado reciclado em mistura à quente é a presença de materiais envelhecidos, os quais podem fragilizar a mistura e diminuir sua resistência, principalmente à fadiga (CUNHA, et al., 2018). O envelhecimento tende a tornar-se um ligante asfáltico mais rígido, mais quebradiço e, portanto, mais suscetível a danos por fadiga devido ao tráfego e às cargas térmicas (HONG, et al., 2020). As alterações na composição química estão correlacionadas à perda de aderência e perda de coesão da mistura asfáltica, o que torna o pavimento mais suscetível a rachaduras na superfície (ZHANG, et al., 2020).

Características que garantem efetividade no uso de material fresado em misturas asfálticas

SUSANTO et al. (2019) realizaram uma pesquisa com misturas asfálticas adicionadas com 56,88%, 50% e 40% de agregado RAP (asfalto fresado). Os autores apontaram que o agregado máximo de RAP, que pode ser usado na mistura do Curso de Desgaste de Concreto Asfáltico (AC-WC) e também próximo à gradação média do padrão Bina Marga, é 56,88%. A mistura continha 39,92% de RAP, 56,40% de novo agregado e 3,86% de conteúdo de asfalto, atendendo aos padrões das rodovias, de acordo com os parâmetros obtidos a partir da compactação Marshall.

Existem várias vantagens em reutilizar o RAP como materiais de pavimentação em termos de perspectivas ambientais, econômicas e de engenharia. As principais vantagens ambientais incluem a conservação de recursos e a economia de espaço no aterro. Também é econômico, pois o custo do material é reduzido quando o RAP é usado em misturas asfálticas à quente (KUEHL, et al., 2016). Esses materiais ainda possuem propriedades desejáveis para

serem utilizadas nas camadas de superfície, sujeitas às limitações estabelecidas na especificação utilizada. No processo de reciclagem de mistura quente, o material RAP é combinado com o novo aglutinante de agregados e asfalto ou agente de reciclagem em uma usina de mistura quente. Com a avaliação adequada do material fresado, é possível obter um desempenho semelhante ou até melhor para a mistura asfáltica reciclada à quente quando comparada às misturas asfálticas convencionais (ARSHAD, et al., 2017).

Segundo et al. (2016) avaliaram o desempenho de misturas asfálticas com uso de material fresado como camada de revestimento, e os resultados mecânicos das misturas indicaram a viabilidade econômica, ambiental e técnica da reciclagem morna mediante critérios de seleção dos materiais e dos equipamentos utilizados.

Utilização de material fresado adicionado com agentes rejuvenescedores em misturas asfálticas

Agentes rejuvenescedores devem ser substâncias altamente aromáticas, cuja composição seja tal que aumente o poder peptizador da fração maltenos do ligante asfáltico (JI et al., 2016). Misturas asfálticas rejuvenescidas por óleo de motor usado e óleo vegetal usado implicaram menos fragilidade e alta durabilidade em comparação com misturas sem rejuvenescedor (DOKANDARI; KAYA; SENGOZ; TOPAL, 2017). Rejuvenescedor é um aditivo usado para amolecer o ligante envelhecido e restaurar as propriedades físicas e reológicas à condição convencional do ligante. Também pode aumentar a resistência à fissuração da mistura asfáltica, pois possui alta resistência ao sulco (IDHAM, et al., 2019).

Portugal et al. (2017) afirma que os óleos vegetais são ricos em ácidos graxos não saturados e apresentam resistência a altas temperaturas. Portanto, em razão dos mecanismos de envelhecimento e rejuvenescimento do ligante asfáltico, eles podem ser utilizados para a recuperação de ligantes asfálticos envelhecidos.

Ji et al. (2017) realizaram um estudo a fim de investigar a adição de óleo de soja e de milho para recuperar as propriedades reológicas de um ligante asfáltico envelhecido, extraído do material fresado. Os autores concluíram que essa adição é capaz de reduzir a rigidez e aumentar a plasticidade do ligante envelhecido, tal qual um rejuvenescedor convencional à base de óleo combustível. Quando a viscosidade do ligante aumenta, este tende a fluir para as trincas e preenche-las, seja pela gravidade, pela tensão superficial ou pela pressão gerada pela sua própria expansão térmica (GROSSEGGER et al., 2018).

Elkashef, Williams e Cochram (2018) desenvolveram uma pesquisa com a utilização de um rejuvenescedor derivado de soja em ligantes asfálticos e obtiveram que o aditivo melhorou as propriedades de baixa e alta temperatura do ligante do material fresado e aumentou a resistência ao envelhecimento. Rejuvenescedores à base de petróleo e óleos vegetais maximizam a resistência à rigidez das misturas asfálticas adicionadas com 65% de material fresado (NABIZADEH, et al., 2017).

Gungat et al. (2019) afirmaram que a adição do agente rejuvenescedor de cera, denominado de RH-WMA, na mistura RAP reduz a rigidez potencializando a reciclagem do RAP em percentagens iguais e maiores que 30%, além de reduzir a temperatura de produção. Quatro diferentes agentes rejuvenescedores comumente usados: ligante asfáltico virgem, óleo vegetal, óleo de motor usado e rejuvenescedor composto (óleo aromático, plastificante e agente antiderrapante) foram utilizados em uma pesquisa a fim de recuperar o ligante envelhecido e os materiais RAP, preparando as misturas de asfalto recicladas com 60% de RAP e incorporando os rejuvenescedores selecionados. O rejuvenescedor composto apresentou melhor desempenho quanto à resistência à fadiga por conter componentes leves suficientes e uma certa quantidade de agente penetrante, acelerando a taxa de difusão dele no ligante envelhecido (ZHANG et al., 2020).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante dos achados, conclui-se que é possível projetar misturas asfálticas de qualidade aceitável com o material fresado que atenda aos critérios volumétricos e de desempenho desejados necessários.

Os resultados do estudo apontaram que a caracterização adequada do material fresado, assim como a avaliação da fonte são necessários devido à variação nas propriedades do material.

O aumento da temperatura no processo de usinagem leva a um maior consumo de energia, o que gera um impacto negativo no meio ambiente, mas as temperaturas de mistura e compactação podem ser reduzidas à medida que ácidos graxos são adicionados à mistura asfáltica reciclada.

Em termos de propriedades mecânicas, maior teor de material fresado produziu maior rigidez e, conseqüentemente, menos resistência à fadiga. Contudo, a adição de agentes

rejuvenescedores nas misturas asfálticas recicladas reduzem a rigidez e, demonstram melhor resistência à fadiga em comparação à mistura reciclada sem aditivos.

O agente rejuvenecedor composto é um material promissor que pode melhorar o desempenho geral de ligantes asfálticos envelhecidos. Esse benefício deve ser ainda mais avaliado com a reciclagem à quente de misturas fresadas. Rejuvenecedor de óleo vegetal tem grande potencial na melhora das propriedades de fadiga e baixa temperatura dos ligantes dos materiais fresados.

REFERÊNCIAS

ARÁMBULA-MERCADO, E.; et al. Evaluation of recycling agent dosage selection and incorporation methods for asphalt mixtures with high RAP and RAS contents. **Construction and Building Materials**. 2018.

ARSHAD, A. K.; et al. Performance Evaluation of Hot Mix Asphalt with Different Proportions of RAP Content. **EDP Sciences**. 2018.

BAGHAEE MOGHADDAM, T.; BAAJ, H. The use of rejuvenating agents in production of recycled hot mix asphalt: a systematic review. **Construction and Building Materials**. 2016.

CUNHA, C. B.; et al. Avaliação de concreto asfáltico usinado a quente com incorporação de material fresado. **Revista Matéria**, vol. 23, n. 3, 10p. 2018.

DOKANDARI, P. A.; KAYA, D.; SENGOZ, B.; TOPAL, A. Implementing Wast Oils with Reclaimed Asphalt Pavement Proceedings. **In: 2nd World Congresso n Civil, Structural and Environmental Engineering (CSEE'17)**. 2017

ELKASHEF, M.; WILLIAMS, R. C.; COCHRAN, E. W. Physical and chemical characterization of rejuvenated reclaimed asphalt pavement (RAP) binders using rheology testing and pyrolysis gas chromatography-mass spectrometry. **Materials and Structures**. 2018.

ELKASHEF, M.; WILLIAMS, R. C. Improving fatigue and low temperature performance of 100% RAP mixtures using a soybean-derived rejuvenator. **Construction and Building Materials**. 2017.

FAROOQ, M. A.; MIR, M. S. Use of reclaimed asphalt pavement (RAP) in warm mix asphalt (WMA) pavements: a review. **Innovative Infrastructure Solutions**. 2017.

GROSSEGGER, D.; GOMEZ-MEIJIDE, B.; VAN STEENKISTE, S.; GARCÍA, Á. Influence of rheological and physical properties of heat-induced self-healing of asphalt mastic beams, **Construction and Building Materials**, v.182, p. 298–308, 2018.

GUNGAT, L.; et al. Design and properties of high reclaimed asphalt pavement with RH-WMA. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**. 2019.

HAMZAH, M. O.; GUNGAT, L.; GOLCHIN, B. Estimation of optimum binder content of recycled asphalt incorporating a wax warm additive using response surface method. **International Journal of Pavement Engineering**. 2017.

HONG, W.; et al. Investigation of rejuvenation and modification of aged asphalt binders by using aromatic oil-SBS polymer blend. **Construction and Building Materials**. 2020.

IDHAM, M. K.; et al. Effect of different rejuvenating agents on the mechanical performance of recycled bituminous mixture. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**. 2019.

JI, J.; YAO, H.; SUO, Z.; YOU, Z.; LI, H.; XU, S.; SUN, L. Effectiveness of vegetable oils as rejuvenators for aged asphalt binders. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 29, n.3, 2016.

KLAMT, R. A.; et al. Estudo da utilização da reciclagem de concreto asfáltico como camada de pavimento. **Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade – GeAS**. 2018

KUEHL, K.; et al. Synthesis of recycled asphalt pavement (RAP) material. **Minnesota Department of Transportation. 2016.**

LU, D. X.; SALEH, M.; NGUYEN, N. H. T. Effect of rejuvenator and mixing methods on behaviour of warm mix asphalt containing high RAP content. **Construction and Building Materials. 2019.**

NABIZADEH, H. HAGSHENAS, H. F.; KIM, Y. R.; ARAGÃO, F. T. S. Effects of rejuvenators on high-matrix (FAM) mixtures. **Construction and Building Materials. 2017.**

PORTUGAL, A.; LUCENA, L.; LUCENA, A.; BESERRA DA COSTA, D. Rheological performance of soybean in asphalt binder modification. **Road Materials and Pavement Design, v. 19, n. 4, p. 768–782, 2017.**

SEGUNDO, I. G. R.; CASTELO BRANCO, V. T. F.; VASCONCELLOS, K. L.; et al. Misturas asfálticas recicladas a quente com incorporação de elevado percentual de fresado como alternativa para camada de módulo elevado. **Revista Transportes, vol. 24, n. 4, pp. 85-94. 2016.**

SONG, W.; HUANG, B.; SHU, X. Influence of warm-mix asphalt technology and rejuvenator on performance of asphalt mixtures containing 50% reclaimed asphalt pavement. **Journal of Cleaner Production. 2018.**

SUSANTO, W. M.; et al. Influence of amount of reclaimed asphalt pavement and asphalt using warm mix asphalt method on asphalt concrete wearing course. **AIP Conference Proceedings. 2019.**

XU, S.; GARCÍA, A.; SU, J.; LIU, Q.; TABAKOVIC, A. Self-Healing Asphalt Review: From Idea to Practice. **Advanced Materials Interfaces. 2018.**

ZAUMANIS, M; MALLICK, R. B. Review of very high-content reclaimed asphalt use in plant produced pavements: state of the art. **International Journal of Pavement Engineering. 2015.**

ZHANG, J.; et al. Influence of different rejuvenating agents on rheological behavior and dynamic response of recycled asphalt mixtures incorporating 60% RAP dosage.

Construction and Building Materials. 2020.