

Eixo Temático ET-11-005 - Outros

MISTURAS ASFÁLTICAS RECICLADAS À QUENTE: ASPECTOS RELEVANTES DISCUTIDOS NA LITERATURA

Joe Villena¹, Fernanda Gadler², Dieudonne Kabemba¹,
Leonardo Fagundes Rosemback Miranda²

¹Universidade Federal do Paraná, Departamento de Transportes, PR.

²Universidade Federal do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil, PR.

RESUMO

Tecnologias e materiais inovadores vêm sendo explorados para determinar a sua viabilidade em pavimentação. As misturas asfálticas recicladas com altos teores de revestimento asfáltico fresado (RAP) é uma das soluções que pode garantir a conservação dos recursos naturais, destinação adequada de resíduos, redução de emissões poluentes e economia de energia. O presente trabalho apresenta aspectos relevantes desta aplicação, analisando o material disponível na literatura, avaliando o que já foi pesquisado e concluído sobre o tema nos últimos anos, no Brasil e no mundo. A partir da bibliografia encontrada é possível concluir que misturas asfálticas recicladas com teores elevados de RAP são potenciais agentes da sustentabilidade efetiva do setor de pavimentação, ao completar o ciclo de utilização dos materiais e permitir o uso do asfalto recuperado em uma aplicação nobre. Com algumas adaptações nas usinas convencionais e com a capacitação de projetistas e executores, a utilização da técnica tem futuro bastante promissor.

Palavras-chave: Misturas asfálticas recicladas; RAP; Sustentabilidade.

INTRODUÇÃO

A incorporação de resíduos e materiais reciclados no ciclo de produção de misturas asfálticas é uma solução que promove a sustentabilidade e rentabilidade da indústria da pavimentação (KOWALSKI et al., 2016). Por conta disso, pesquisas que avaliem sua aplicação são cada vez mais frequentes na literatura. A importância da reciclagem de resíduos, sejam eles provenientes de concreto ou de asfalto, também se manifesta na política como, por exemplo, na reunião da Comissão Europeia “Directive 2008/98/EC on waste”, na qual grande ênfase é colocada na prevenção, redução, reutilização e reciclagem de resíduos. Nesta reunião foi estabelecido que um objetivo de reciclagem de 70% para materiais de construção e resíduos de demolição (incluindo resíduos de asfalto) deve ser alcançado em 2020, em toda a União Europeia (TOJO; FISCHER, 2011).

Analisando a literatura acadêmica sobre o uso de revestimentos asfálticos fresados em misturas asfálticas recicladas a quente no Brasil e no mundo, pesquisadores concluíram que os trabalhos realizados atestam a viabilidade técnica para produção de misturas asfálticas utilizando este resíduo, as quais possuem desempenho semelhante e em alguns casos até superior ao das misturas convencionais (FREIRE; GÓIS; DOMINICINI; LUTIF, 2014). No Brasil, o revestimento asfáltico fresado é muito conhecido como RAP, proveniente da sigla em inglês de *Reclaimed Asphalt Pavement*.

Neste contexto, a utilização de RAP em misturas asfálticas já é uma realidade, porém, ainda com teores de incorporação modestos. Neste sentido, muitas pesquisas vêm sendo realizadas com a finalidade de possibilitar a utilização desta tecnologia de reciclagem a quente em teores mais elevados e com conhecimento mais aprofundado do desempenho desse tipo de mistura asfáltica. O envelhecimento do ligante proveniente do RAP e, por sua vez, a utilização de rejuvenescedores nas propriedades deste ligante tem sido pesquisado com vigor (ONGEL; HUGENER, 2014; RASCON; CORTES; PASTEN, 2015). Além disso, misturas com teores de

incorporação acima de 50% e até misturas com 100% de incorporação de RAP são bastante frequentes na literatura acadêmica (ZAUMANIS et al., 2014).

Diante do exposto, o presente trabalho tem como objetivo a apresentação dos aspectos julgados relevantes discutidos na literatura acadêmica, a respeito das misturas asfálticas recicladas a quente, avaliando o que já foi pesquisado e concluído sobre o tema nos últimos anos, no Brasil e no mundo.

METODOLOGIA

O método de pesquisa utilizado foi a pesquisa bibliográfica, que guiou todo o processo de investigação e análise dos focos da pesquisa. Ainda, de forma complementar, a pesquisa apresenta os resultados de forma qualitativa e quantitativa, através da análise e interpretação dos dados encontrados na pesquisa bibliográfica.

As buscas de trabalhos sobre o tema foram realizadas através de três bases de dados: Capes, Science Direct e Google Acadêmico. Foram escolhidas as palavras chaves que pudessem representar e englobar o assunto em questão. Neste caso, foram inseridas nos campos de busca, de forma isolada e posteriormente em conjunto, as palavras Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) com a associação do termo “asphalt mixture”, de forma a minimizar a possibilidade de dissipação do foco de estudo, como por exemplo, a utilização deste resíduo em camadas de base. A busca também contemplou a inserção desses termos em português, posteriormente. Além disso, é importante ressaltar que, em todas as bases de dados, o filtro foi aplicado para que resultasse em artigos que contivessem as palavras no título, no resumo ou nas palavras-chave (title, abstract, keywords).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Anualmente, são produzidas 100 milhões de toneladas de ligante asfáltico no mundo todo, sendo que 90% deste montante é utilizado para a construção de pavimentos. Nos Estados Unidos, por exemplo, a indústria da pavimentação é classificada como a segunda maior consumidora de energia, o que conseqüentemente remete a emissões de poluentes mais elevadas (JAMSHIDI et al., 2016). Desta forma, alguns autores definem alguns critérios que devem direcionar a produção de um pavimento mais sustentável, como por exemplo: minimizar o uso de recursos naturais; reduzir o consumo de energia e as emissões de poluentes; melhorar as condições de trabalho; e, garantir um elevado nível de conforto e segurança para os usuários (MAHER et al., 2006).

Neste contexto, na indústria de pavimentação, um número considerável de tecnologias e materiais inovadores estão sendo explorados para determinar a sua viabilidade na concepção, construção e manutenção de pavimentos. Misturas mornas, RAP, cinzas e materiais de impermeabilização (mantas asfálticas), são alguns dos materiais que os pesquisadores acreditam que possam garantir a sustentabilidade da indústria da pavimentação no futuro. Com a utilização destes materiais, as vantagens resultantes são altamente significativas, desde a conservação dos recursos naturais, otimização do uso dos aterros de destinação de resíduos, redução de emissões poluentes e economia de energia (MILLS-BEALE; YOU, 2010)

As pesquisas que tratam da incorporação de RAP em misturas asfálticas são cada vez mais frequentes e esse tipo de aplicação já é bastante comum em muitos países do mundo. Na Europa, por exemplo, praticamente nenhum resíduo de asfalto é encaminhado para aterros e os pavimentos são o produto mais reciclado na indústria da construção, excedendo os volumes das típicas reciclagens de vidro e papel (PETRARCA; GALDIERO, 1984).

No Brasil, os trabalhos realizados nos últimos anos corroboram a hipótese de que é possível fabricar, com o uso de RAP (Figura 1), misturas com desempenhos semelhantes e até superiores aos de misturas convencionais. Porém, ainda existe grande receio na utilização de misturas com teores elevados desse material, justamente por seu desempenho ainda não estar comprovado e apresentar maior disparidade entre os resultados (FREIRE et al., 2014).



Figura 1. Pilha de RAP. Fonte: Os autores (2017).

Alguns autores ressaltam que os construtores devem entender que o RAP não é um resíduo, mas sim, devem considerar a estrada como uma fonte de matéria-prima (agregado e ligante asfáltico), assim como as pedreiras ou um poço de petróleo. Os autores reforçam que a substituição de material virgem por RAP vale cada tonelada e se o material for processado e tratado, assim como as matérias-primas virgens o são, misturas asfálticas com até 50% de incorporação de RAP podem ser produzidas mantendo um nível de qualidade igual ou superior ao das misturas convencionais, além da redução de custos proporcionada (DON BROCK; RICHMOND, 2007).

Na Alemanha, por exemplo, os princípios de reciclagem são considerados como um modo de vida há vários anos, reciclando entre 80 e 90% do total de RAP disponível, diferentemente da Itália que recicla em torno de 20%.

Vantagens da utilização do RAP

Uma das vantagens mais expressivas da aplicação de misturas asfálticas recicladas a quente é inerente ao conceito de reciclagem. A gestão de resíduos é uma questão de sobrevivência que está bastante clara e efetivamente aplicada na maioria dos países. No cenário atual, o setor de pavimentação vem incrementando a reciclagem de materiais que, a partir de pesquisas aprofundadas, vem deixando de serem vistos como materiais de qualidade inferior. Ainda, com o aumento do preço do ligante asfáltico, o uso de RAP, que contribui com ligante asfáltico na mistura, vem ganhando bastante espaço (NGUYEN, 2009). Ainda neste sentido, Greenbanb (2017) estimou que, com a taxa anual de consumo de petróleo, as reservas se esgotariam em aproximadamente 44 anos. Esse fato, portanto, tem impacto significativo na busca de soluções alternativas para as aplicações onde o petróleo é utilizado, como na fabricação de misturas asfálticas, por exemplo.

Um estudo recente norte-americano avaliou os custos relacionados aos materiais para produção de misturas fabricadas utilizando RAP, com porcentagens de incorporação progressivas. A mistura, para efeitos de cálculo, foi concebida com 94,3% de agregados e 5,7% de ligante asfáltico. A Figura 2 apresenta os resultados dos custos relacionados ao material, por tonelada de asfalto, em misturas com incorporação de RAP variando de 0% a 100%. De acordo com este estudo, dependendo da disponibilidade de RAP, os custos da mistura com 100% de RAP, teria redução de 50% a 70% dos custos com relação à mistura com agregados naturais (ZAUMANIS et al., 2016). Sendo assim, os custos de produção de misturas recicladas também se caracterizam como uma vantagem da tecnologia.

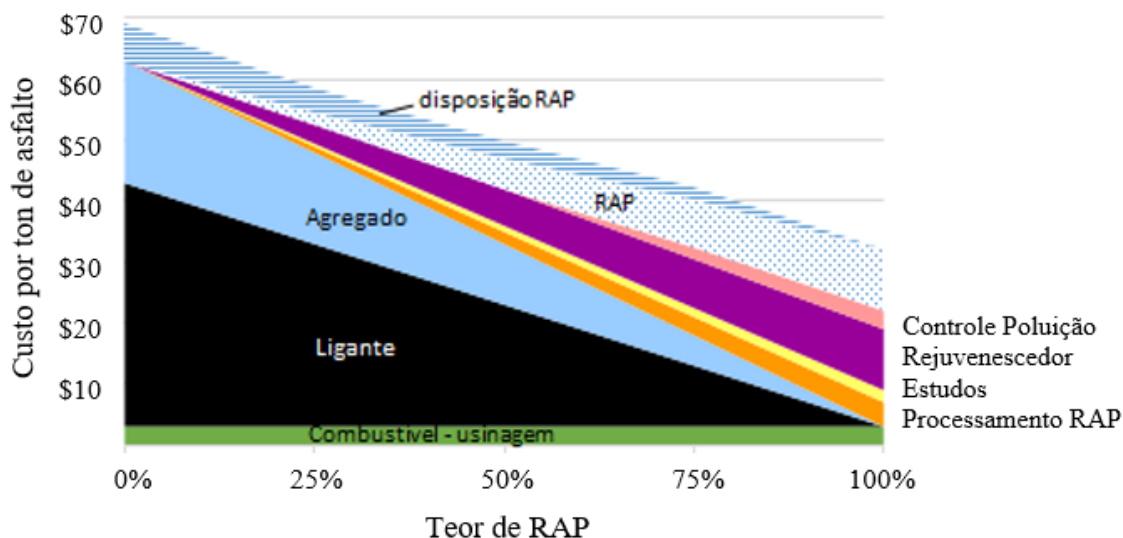


Figura 2. Custo de uma mistura reciclada com RAP. Adaptado de Zaumanis et al. (2016).

Pontos de atenção quando da utilização de RAP

Um dos problemas para a fabricação de misturas com altos teores de RAP incorporado é o aquecimento deste agregado, que deve ser evitado a fim de se prevenir o envelhecimento ainda maior do asfalto contido no fresado. Para tal, técnicas de misturas asfálticas mornas podem ser utilizadas, facilitando ainda a incorporação de maiores porcentagens de RAP (GENNESSEAU, 2015). Além disso, uma questão inerente à utilização de resíduos, não apenas o RAP, é a heterogeneidade do material. Técnicas de homogeneização e/ou fracionamento do RAP vem sendo estudadas com o intuito de minimizar essa heterogeneidade. Alguns autores (VALDÉS et al., 2011) atestam a viabilidade técnica de misturas com o uso de porcentagens elevadas de RAP, porém, ressaltam que é indispensável caracterizar e manusear as pilhas de RAP adequadamente de modo a evitar misturas muito heterogêneas.

Outra questão que possa ser vista como um empecilho para a utilização em larga escala da reciclagem a quente, são as adaptações necessárias em uma usina de asfalto já instalada. De qualquer forma, a literatura não vê essa questão como um impeditivo da aplicação da tecnologia, já que, segundo os autores revisados, as modificações necessárias são pontuais. Em um dos artigos sobre plantas para produção de misturas asfálticas recicladas, os autores identificam onze tecnologias de plantas prontamente disponíveis para fabricação de uma mistura 100% reciclada, sendo que cinco delas são detalhadas de forma intensa no estudo. De acordo com os autores, essas tecnologias permitem a produção de mistura nas temperaturas de usinagem convencionais e a compactação pode ser realizada usando equipamentos e técnicas existentes. No caso de uma planta existente, algumas modificações são necessárias. Dez das onze tecnologias apresentadas exigem a instalação de um novo sistema de secagem/aquecimento e uma delas é projetada para adaptar instalações de tambor existentes com um sistema de filtração diferente. Ambos os sistemas de produção da usina, gravimétrico (por batelada) ou contínuo (drum-mixer), são capazes de produzir misturas 100% recicladas (ZAUMANIS et al., 2014).

Normas e recomendações

No Brasil, a norma DNIT 033/2005-ES, define a sistemática a ser empregada na execução de camada do pavimento por meio da produção de mistura asfáltica reciclada a quente na usina utilizando cimento asfáltico, material de revestimento asfáltico removido de pavimento existente (RAP), agregados minerais e, caso necessário, material de enchimento e agente de reciclagem. Porém, as especificações são generalistas, indicando as mesmas recomendações e diretrizes da norma de misturas asfálticas convencionais (DNIT 031/2006 – ES), sem indicações específicas para diferentes teores de incorporação, particularidades de usinagem, entre outras

questões. Nos Estados Unidos e na Europa, por exemplo, por se tratar de uma técnica bastante difundida e aplicada em campo, existem diversas normas e diretrizes que auxiliam os projetistas e construtores na fabricação das misturas com incorporação de RAP. A própria especificação Superpave, por exemplo, através da norma AASHTO M 323, recomenda modificações nos projetos de misturas conforme teor de incorporação de RAP. As recomendações da norma encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1. Diretrizes para seleção do ligante asfáltico em misturas com RAP.

Recomendações sobre o grau do ligante virgem	Percentual RAP
Nenhuma mudança no projeto de seleção da mistura	< 15
Selecionar um ligante virgem com baixa viscosidade (selecionar PG 58-28 se for normalmente utilizado um PG 64-22)	15 a 25
Seguir as recomendações dos gráficos de mistura (blending charts)	>25

Fonte: Adaptado da norma AASHTO M 323.

Ainda, a NCAT (National Center of Asphalt Technology), órgão importante do setor de pavimentação mundial, através da NCHRP Report 752, também faz considerações para melhoria do projeto de misturas asfálticas produzidas com alto teor de RAP. Outro exemplo de norma com diretrizes específicas para o uso de RAP é a norma francesa NF EN 12697-35 +A1, que indica uma equação para a escolha da temperatura de aquecimento dos agregados novos de uma mistura asfáltica reciclada com teores de até 45% de RAP, a fim de determinar a temperatura de aquecimento dos agregados para fabricação deste tipo de mistura.

CONCLUSÕES

Diante do conteúdo pesquisado nas bibliografias, fica evidente a potencialidade da indústria da pavimentação em consumir os resíduos gerados, como o RAP por exemplo. As principais conclusões obtidas através da pesquisa bibliográfica realizada, são apresentadas a seguir.

- Quanto à utilização de RAP, as pesquisas são numerosas e com resultados muito satisfatórios, principalmente no âmbito internacional, onde a aplicação de misturas com teor elevado de RAP já é uma realidade. Nos EUA e na Europa existem normas específicas que tratam dessa incorporação, auxiliando projetistas e construtores.
- No Brasil, a utilização de teores elevados de RAP (acima de 25%) ainda é cautelosa e as normas existentes sobre o assunto são bastante generalistas, estabelecendo os mesmos requisitos das misturas convencionais.
- É possível identificar uma potencialidade de estudos na questão da combinação das técnicas de mistura morna e utilização de RAP, além da busca por técnicas de homogeneização e fracionamento do RAP, a fim de minimizar a heterogeneidade das misturas.
- O menor consumo de energia e combustível, aliado a preservação de recursos naturais é consenso entre os autores como sendo a principal vantagem do ponto de vista ambiental da utilização de misturas asfálticas recicladas.
- A utilização de rejuvenescedores do ligante asfáltico envelhecido que consta no RAP e as modificações necessárias nas usinas existentes, são foco importante de estudos da área.
- Por fim, a partir da literatura existente, é possível verificar que misturas asfálticas recicladas com teores elevados de RAP são potenciais agentes da sustentabilidade efetiva do setor, ao completar o ciclo de utilização dos materiais e permitir o uso do

asfalto recuperado em uma aplicação nobre. Com algumas adaptações nas usinas convencionais e com a capacitação de projetistas e executores, a utilização da técnica tem futuro bastante promissor.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Laboratório de Pavimentação Armando Martins Pereira (LAMP) e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil (PPGECC), da Universidade Federal do Paraná (UFPR), pela disponibilização de laboratórios, equipamentos e apoio à pesquisa, e, ao BNDES e à CAPES, pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

- DON BROCK, J.; RICHMOND, J. L. **Milling and recycling**. Technical Paper T-127, ASTEC. INC., Chatanooga, USA; 2007.
- FREIRE, J.; GÓIS, T.S.; DOMINICINI, W.K.; LUTIF, J. O estado da arte sobre uso de reciclado de pavimento asfáltico na pavimentação no Brasil e no mundo. XXVIII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes – Curitiba – Novembro, 2014.
- GENNESSEAU, M. M. L. **Avaliação da durabilidade de misturas asfálticas a quente e mornas contendo material asfáltico fresado**. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Transportes. São Paulo, São Paulo, 2015.
- GREENBANB. **How much oil is left?** Disponível em: <http://www.greenbang.com/how-much-oil-is-left_16795.html>. Acesso em: 05 out. 2017.
- JAMSHIDI, A.; HAMZAH, M., O.; KURUMISAWA, K.; NAWA, T.; SAMALI, B. Evaluation of sustainable technologies that upgrade the binder performance grade in asphalt pavement construction. **Materials and Design**, v. 95, p.9-20, 2016.
- KOWALSKI, K. J.; KRÓL, J.; RADZISZEWSKI, P.; CASADO, R.; BLANCO, V.; PÉREZ, D.; VIÑAS, V. M.; BRIJSSE, Y.; FROSCH, M., LE, D. M.; WAYMAN, M. Eco-friendly materials for a new concept of asphalt pavement. **Transportation Research Procedia**, v. 14, p. 3582-3591, 2016.
- MAHER, M.; UZAROWSKI, L.; MOORE, G.; AURILIO, V. Sustainable pavements: making the case for longer design lives for flexible pavements, Proc., 51st Annual Conf. of the Canadian Technical Asphalt Association, CTAA, Charlottetown, Prince Edward Island, Canada 2006, pp. 44–56.
- MILLS-BEALE, J.; YOU, Z. The mechanical properties of asphalt mixtures with Recycled Concrete Aggregates. **Construction and Building Materials**, v. 24, p. 230-235, 2010.
- NGUYEN, V. H. **Effects of laboratory mixing methods and RAP materials on performance of hot recycled asphalt Mixtures**. Tese de Doutorado. Universidade de Nottingham, 2009. Disponível em: <<http://core.ac.uk/download/pdf/98873.pdf>>. Acesso em: 05 out. 2017.
- ONGEL, A.; HUGENER, M. Aging of bituminous mixes for rap simulation. **Construction and Building Materials**, v. 68, p. 49-54, 2014.
- PETRARCA, R. W., GALDIERO, V. A. Summary of testing of recycled crushed concrete. **Transportation Research Record**, p. 19-26, 1984.
- RASCON, R. L.; CORTES, D. D.; PASTEN, C. Reclaimed asphalt binder aging and its implications in the management of RAP stockpiles. **Construction and Building Materials**, v. 101, n. 1, p. 611-616, 2015.
- TOJO, N.; FISCHER, C. Europe as a Recycling Society-European Recycling Policies in Relation to the Actual Recycling Achieved. 2011.
- VALDÉS, G., PÉREZ-JIMÉNEZ, M.; MARTÍNEZ, A.; BOTELLA, A. R. Experimental study of recycled asphalt mixtures with high percentages of reclaimed asphalt pavement (RAP). **Construction and Building Materials**, v. 25, p. 1289-1297, 2011.
- 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**, v. 16, n. 1, p. 39-55, 2015.

ZAUMANIS, M.; MALLICK, R. B.; FRANK, R. 100% recycled hot mix asphalt: a review and analysis. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 92, p. 230-245, 2014.

ZAUMANIS, M.; MALLICK, R. B.; FRANK, R. 100% hot mix asphalt recycling: challenges and benefits. **Transportation Research Procedia**, v. 14, p. 3493-3502, 2016.

ZAUMANIS, M.; MALLICK, R. B.; POULIKAKOS, L.; FRANK, R. Influence of six rejuvenators on the performance properties of Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) binder and 100% recycled asphalt mixtures. **Construction and Building Materials**, v. 71, p. 538-550, 2014.