

Eixo Temático ET-11-015 – Outros

USO DO AGENTE REJUVENESCEDOR AR-5 NA PRODUÇÃO DE MISTURAS ASFÁLTICAS 100% RECICLADAS - RESISTÊNCIA À TRAÇÃO

Claudia Cechella Zanette¹, Kelyn Rodrigues Moreno¹,
Joe Arnaldo Villena Del Carpio²

¹Universidade do Extremo Sul Catarinense, Curso de Engenharia Civil, SC;

²Universidade Federal do Paraná, Departamento de Transportes, PR.

RESUMO

O revestimento asfáltico, camada superficial do pavimento flexível, sofre um processo de envelhecimento devido, principalmente, à oxidação do ligante asfáltico. A oxidação ocorre devido às altas temperaturas de oxidação e compactação da mistura asfáltica e ao intemperismo que a mesma sofre em campo durante toda a sua vida útil. Uma vez atingida a vida útil do revestimento, o mesmo pode ser fresado, retirado do local e é então reaproveitado em camadas de base de novos pavimentos, em aterros, ou parcialmente, em novas capas asfálticas. Este material poderia, porém, ser totalmente reutilizado na constituição de um novo revestimento mediante a adição de agentes que devolvessem ao material a elasticidade perdida. O presente estudo avalia a influência do uso do agente rejuvenescedor AR-5 na resistência à tração de uma mistura asfáltica envelhecida reciclada. Foram realizados ensaios de penetração para estimar a porcentagem ótima desse agente no rejuvenescimento da mistura. As porcentagens estabelecidas foram utilizadas para moldar amostras de mistura asfáltica rejuvenescida as quais foram, posteriormente, ensaiadas à tração indireta e os seus resultados comparados com os de amostras envelhecidas extraídas em campo. Os resultados mostraram que a adição de 30% de agente rejuvenescedor AR-5, em relação à massa de ligante asfáltico, aumentam a resistência da mistura asfáltica em, até, 99% em relação à mistura envelhecida. Ensaios de espectroscopia de infravermelho, realizados no ligante envelhecido e rejuvenescido, mostraram que o ligante rejuvenescido apresentou praticamente as mesmas estruturas químicas de um ligante novo. Os dados obtidos nesta pesquisa podem servir para direcionar novos estudos que visem à utilização de 100% do material envelhecido na constituição de misturas asfálticas recicladas, permitindo a economia de materiais virgens e dando um novo uso ao resíduo gerado durante a fresagem.

Palavras-chave: Mistura asfáltica envelhecida; Agente rejuvenescedor AR-5; Resistência à tração por compressão diametral; Espectroscopia de infravermelho; Reciclagem de pavimentos asfálticos.

INTRODUÇÃO

O pavimento asfáltico é uma estrutura de múltiplas camadas, construída sobre a superfície final de terraplenagem, destinada técnica e economicamente a resistir aos esforços do tráfego de veículos e do clima, e a propiciar aos usuários melhoria nas condições de rolamento, com conforto, economia e segurança. A camada de revestimento, que fica na superfície, tem a função de receber diretamente as ações do tráfego e transmiti-las às camadas inferiores (BERNUCCI et al.,2008). O material

utilizado no revestimento do pavimento flexível é a mistura asfáltica, a qual é obtida da combinação de ligante asfáltico, também conhecido por asfalto, agregados e, quando necessário, aditivos; no Brasil o tipo de mistura asfáltica mais utilizada é o concreto asfáltico – CA, regido pela norma DNIT 031/2006 – ES (BRASIL, 2006).

A utilização do ligante asfáltico no pavimento flexível é frequente, por ser um forte unificador de agregados, durável, resistente à maioria dos ácidos, álcalis e sais, além de ser impermeável (BERNUCCI et al., 2008). O mesmo possui dois grupos químicos principais: asfaltenos, de coloração preta, insolúveis no n-heptano; e os maltenos, constituídos de compostos saturados, compostos aromáticos e resinas, solúveis no n-heptano. (MORALES, PARTAL, NAVARRO et al., 2004). Cada um destes compostos tem sua função no ligante, os asfaltenos caracterizam a dureza, resistência; os aromáticos são responsáveis pela viscosidade e fluidez; e as resinas possibilitam a aderência, ductilidade, maleabilidade e plasticidade (OYEKUNLE, 2007). Embora resistente, ao longo do tempo o ligante perde suas propriedades iniciais de viscosidade e fluidez tornando-se duro e quebradiço. Este processo de degradação é denominado de envelhecimento do ligante e decorre da influência de vários fatores, mas principalmente da temperatura (na usinagem, compactação e vida útil), exposição ao ar (ação do oxigênio) e da sua superfície específica (sua espessura, película que se forma ao envolver o agregado) (TONIAL, 2009).

Como qualquer estrutura, o pavimento tem seu tempo de vida útil, no caso deste, diminuída pela influência do envelhecimento do ligante, as ações repetidas das cargas de serviço e intempéries. Estes fatores causam a degradação da estrutura, sendo necessário realizar a recuperação do revestimento. A manutenção do pavimento mediante recapeamentos (aplicações de novas camadas de revestimento asfáltico por cima da existente ou tratamentos superficiais) após certas aplicações, não se torna mais viável e, por isso, a melhor opção é a remoção da camada asfáltica e a sua substituição com novo revestimento (REIS, 2013). A fresagem é o método de remoção da camada asfáltica na qual uma máquina fresadora fragmenta, tritura e retira o revestimento envelhecido. O material gerado pela fresagem é um resíduo que afeta negativamente o meio ambiente, tornando-se um passivo ambiental, que na maioria das vezes não possui destino adequado. Diante disso, a reciclagem desse resíduo, o material fresado, se torna uma solução sustentável e inovadora para a destinação deste material. Existem algumas técnicas que reaproveitam o resíduo no pavimento como, por exemplo, a reciclagem a frio, na qual o material fresado é acrescentado para constituir uma camada de base ou sub-base; e a reciclagem a quente, que produz uma nova mistura asfáltica a quente, utilizada no revestimento do pavimento (REIS, 2013).

Para esta última técnica, a prática comum é utilizar o material fresado de forma parcial na mistura, ou seja, adicionam-se agregados e ligantes novos, dessa forma se têm misturas com variadas porcentagens de material reciclado. No entanto, é mais vantajoso reciclar totalmente o material fresado sem necessitar a exploração de novos agregados e a inclusão de ligante asfáltico. Nos Estados Unidos, misturas asfálticas totalmente recicladas já são aplicadas em estacionamentos, áreas industriais e valas (ZAUMANIS et al., 2014a). No Brasil, entretanto, até 2011 algumas tecnologias viabilizavam o uso em até 65% de material fresado na reciclagem a quente (SOBRATEMA, 2011). Para a constituição de revestimentos asfálticos reciclados com adição de materiais novos o próprio ligante virgem adicionado pode melhorar a elasticidade e viscosidade do ligante envelhecido. Contudo, quando se trata de reciclagem com altos teores de material envelhecido, o uso de um produto conhecido como agente rejuvenescedor é uma

solução que permite a constituição de misturas asfálticas com até 100% de material reciclado (ZAUMANIS et al., 2014b).

O agente rejuvenecedor é um produto composto por hidrocarbonetos aromáticos e resinas que restabelecem a estrutura química do ligante - componentes que foram perdidos na sua vida útil - e devolvem, ao mesmo, suas características viscoelásticas (BERNUCCI et al., 2008). A utilização de agentes rejuvenecedores reverte o processo de envelhecimento pelo qual o ligante passou, restaurando suas propriedades e possibilitando a reciclagem total da mistura asfáltica envelhecida (ZAUMANIS et al., 2014a). Os principais agentes rejuvenecedores utilizados no Brasil são o Extrato Aromático de Neutro Pesado e o Óleo de Xisto. Os agentes rejuvenecedores de Óleo de Xisto são os vários “AR-X”, produzidos a partir do xisto processado (CASTRO, 2003). Esse agente rejuvenecedor apresenta maior aromaticidade, produzindo um efeito maior de rejuvenescimento e, por conferir alto teor de nitrogênio básico, promove maior adesividade do ligante rejuvenescido ao agregado, em relação a outros derivados diretamente do petróleo (LEITE et al., 1990).

Para poder avaliar os efeitos do envelhecimento do ligante e a contribuição do agente rejuvenecedor sobre o mesmo, alguns estudiosos recorreram à técnica de espectroscopia de absorção na região do infravermelho com transformada de Fourier (FTIR). A região do infravermelho que emite frequências entre comprimentos de onda de 4000 e 600 cm^{-1} permite verificar a absorção da radiação pelas moléculas orgânicas convertida em vibração molecular (MOTHÉ, 2009). Por meio desta técnica, ainda pouco utilizada para caracterização de ligantes asfálticos, é possível determinar as principais estruturas químicas de materiais orgânicos. Alguns autores identificaram bandas parecidas para discriminar os grupos funcionais de ligantes asfálticos. Fernandes (2007) e Mothé (2009) encontraram grupos químicos muito próximos para diferentes ligantes brasileiros, esses grupos são identificados por seu número de onda correspondente; conforme se verifica na Tabela 1.

Tabela 13: Bandas características de um ligante asfáltico CAP 50/70.

Principais bandas características	Número de onda (cm^{-1}) observados
δ_r (CH ₂) _n , n > 4	724
δ C-H em aromáticos substituídos	743, 810 e 868
ν S=O	1032
ν SO ₂	1310
δ_{sim} CH ₃	1374
δ_{ass} CH ₂ , CH ₃	1460
ν C=C	1609
ν C=O	1703
ν C-H (CH ₂)	2851
ν C-H (CH ₃)	2924
ν O-H	3455

Fonte: Fernandes (2007) adaptado.

Segundo Lima (2008) a presença de sulfóxidos (S=O) e carbonilas (C=O), correspondentes às bandas de 1030 e 1700 cm^{-1} , respectivamente, indicam a oxidação do ligante asfáltico. A absorção em 1456 cm^{-1} refere-se aos aromáticos (ALLINGER, PEIXOTO, PINHO, 1978). Estes dados são fundamentais para avaliar a influência de

um agente rejuvenecedor na alteração química do ligante envelhecido, servindo como parâmetro para avaliar seu rejuvenescimento.

OBJETIVO

O objetivo geral desta pesquisa é avaliar a viabilidade do uso do agente rejuvenecedor AR-5 na produção de misturas asfálticas 100% recicladas.

METODOLOGIA

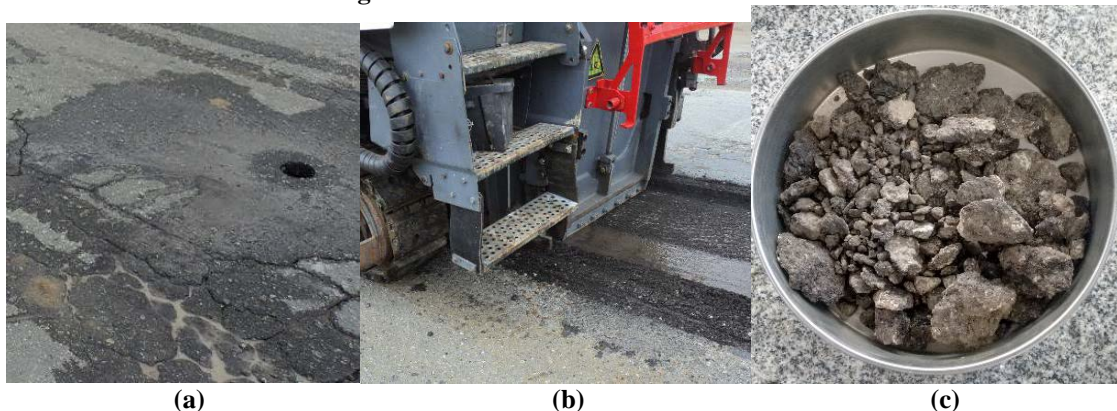
A metodologia da pesquisa consistiu na coleta de mistura asfáltica envelhecida a partir da fresagem e por meio de 12 corpos de prova cilíndricos, extraídos por sonda rotativa, de um revestimento asfáltico existente. A mistura asfáltica envelhecida foi solubilizada com diclorometano e em seguida destilada para extrair o ligante asfáltico envelhecido. Amostras de ligante envelhecido misturado com diversas porcentagens de AR-5 foram submetidas ao ensaio de penetração. Este ensaio foi utilizado para definir o teor ótimo de adição do AR-5 no ligante envelhecido que permitiu um valor de penetração de, pelo menos, 50 x 0,1 mm. Também se avaliou a influência do AR-5 na estrutura química do ligante envelhecido por meio de espectroscopia de infravermelho. Posteriormente, foram moldados cinco corpos de prova cilíndricos em laboratório, os quais foram ensaiados à tração indireta para obtenção da resistência à tração; os resultados obtidos foram comparados com a média da resistência dos corpos de prova extraído do campo. A viabilidade da adição do AR-5 foi satisfatória considerando que mistura asfáltica rejuvenescida atingiu o valor mínimo de resistência à tração especificada por norma e ainda assim a mesma foi superior à resistência da mistura asfáltica envelhecida extraída em campo.

Materiais

Mistura asfáltica envelhecida fresada

A mistura asfáltica envelhecida utilizada no presente estudo foi coletada no dia 03/04/2015 por meio de fresagem a frio do revestimento da Rodovia SC-370 que liga as cidades de Tubarão a Gravatal, localizadas no Estado de Santa Catarina. A Figura 3 mostra a aparência do revestimento envelhecido em campo, a operação de fresagem e o material coletado.

Figura 34: Mistura asfáltica envelhecida.



(a)

(b)

(c)

Fonte: O autor (2015)

Legenda: a) Aparência do revestimento existente.

b) Fresagem a frio.

c) Material fresado.

Na Figura 1a é possível observar o alto grau de deterioração do revestimento da rodovia, caracterizado pela grande quantidade de fissuras presentes, como também se verificou em campo a presença de trilhas de roda.

Corpos de prova extraídos em campo

No mesmo dia em que se coletou o material fresado, foram extraídos 12 corpos de prova (Figura 2) do revestimento asfáltico com o equipamento de sonda rotativa, que foram posteriormente rompidos no ensaio de resistência à tração por compressão diametral.

Figura 35: Corpos de prova coletados em campo.



Fonte: O autor (2015)

Legenda: a) Extração com sonda rotativa.
b) Amostras extraídas.

Agente rejuvenescedor AR-5

A empresa Betunel Indústria e Comércio Ltda forneceu o agente rejuvenescedor AR-5 (Figura 3).

Figura 36: Agente Rejuvenescedor – AR-5.



Fonte: O autor (2015)

Métodos

Extração do ligante do material fresado

Para poder avaliar as características do ligante envelhecido, foi necessário extrair-lo do material fresado de forma a recuperá-lo sem aquecê-lo a altas temperaturas como de usinagem, 140 a 180 °C (como anteriormente citado, o ligante também envelhece devido à elevação da temperatura, associado à oxidação). Devido ao baixo ponto de ebulição do diclorometano (40 °C) optou-se por utilizar este solvente para não influenciar no envelhecimento do ligante contido no material fresado.

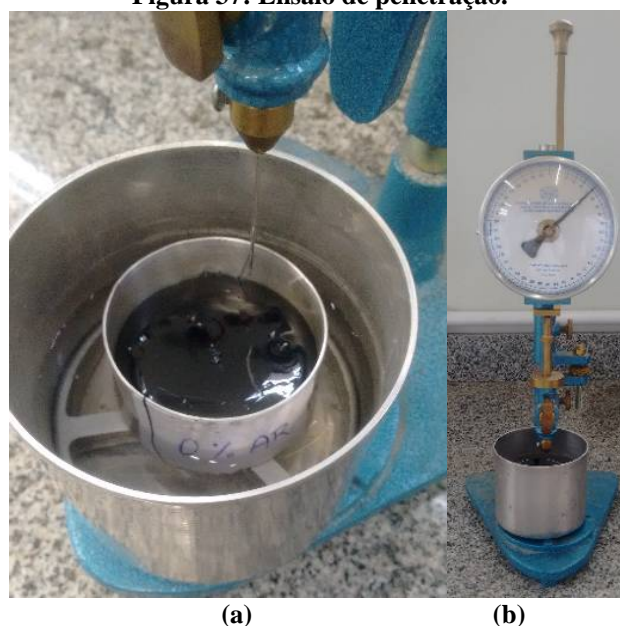
Dosagem de amostras com diferentes teores de AR-5

Foram dosadas amostras de ligante asfáltico envelhecido com variados teores de AR-5, a fim de avaliar o comportamento do ligante rejuvenescido. Para cada amostra, separou-se aproximadamente 50 g do ligante envelhecido extraído e as quantidades de AR-5 a serem adicionados. Esses materiais foram aquecidos a 140 °C por 40 minutos, logo em seguida realizou-se a adição do agente rejuvenescedor sobre a massa de ligante envelhecido, conforme o teor definido. Para finalizar, a amostra foi bem homogeneizada e colocada em estufa por 10 minutos para expulsão das bolhas de ar. As porcentagens de agente rejuvenescedor adicionados à massa do ligante envelhecido, em função do peso do ligante, foram de: 10; 15; 20; 25; 30; 35; 40; e, 50%.

Determinação do teor ótimo de agente rejuvenescedor

Todas as amostras de ligante envelhecido com adição de AR-5, incluindo uma amostra sem adição de agente rejuvenescedor, foram submetidas ao ensaio de penetração conforme a norma do DNIT 155/2010 – ME (BRASIL, 2010b). Um ligante asfáltico novo convencional CAP 50/70 apresenta uma penetração entre 50 a 70 x 0,1 mm. Assim, o teor de agente rejuvenescedor ótimo foi determinado como sendo aquele que permite ao ligante envelhecido atingir uma penetração mínima de 50 x 0,1 mm. A Figura 4 mostra o ensaio de penetração.

Figura 37: Ensaio de penetração.



Legenda: a) Amostra antes do ensaio.
b) Penetrômetro utilizado.

Ensaio de espectroscopia de infravermelho (ftir)

Com o objetivo de avaliar a influência da adição de AR-5 na composição química do ligante envelhecido, realizou-se o ensaio de espectroscopia de infravermelho. Para este ensaio, foram utilizadas amostras de ligante envelhecido puro e com adição do teor ótimo de AR-5, ligante CAP 50/70 novo e o próprio AR-5. O equipamento utilizado para este ensaio foi o espectrômetro modelo *IRAffinity-1* da marca *Shimadzu*. No ensaio foram avaliados os comprimentos de onda entre as faixas de 4000 a 750 cm^{-1} . Os dados da espectroscopia foram lançados no programa *Origin 8* o qual permitiu que os gráficos dos espectros fossem formatados para melhor visualização e compreensão dos dados.

Moldagem das misturas asfálticas rejuvenescidas

O material fresado foi quarteado e homogeneizado. Este processo permitiu trabalhar com uma amostra homogênea e com pouca presença de aglomerações de agregados e ligante. Cada corpo de prova foi moldado com 1200 g de material fresado e a porcentagem ótima de agente rejuvenescedor AR-5. No total, foram moldados cinco corpos de prova. O material fresado e pesado foi aquecido em estufa até a temperatura de usinagem, 160° C, e misturado com o agente rejuvenescedor, na mesma temperatura. A mistura foi deixada em estufa por duas horas, na temperatura de compactação, para simular o envelhecimento de curto prazo do ligante durante o transporte desde a usina até o local da obra. As misturas foram compactadas com o soquete utilizado na metodologia de dosagem Marshall segundo a norma DNER-ME 043/1995 (BRASIL, 1995). A Figura 5 mostra os corpos de prova moldados com AR-5.

Figura 38: Corpos de prova de mistura reciclada com AR-5.

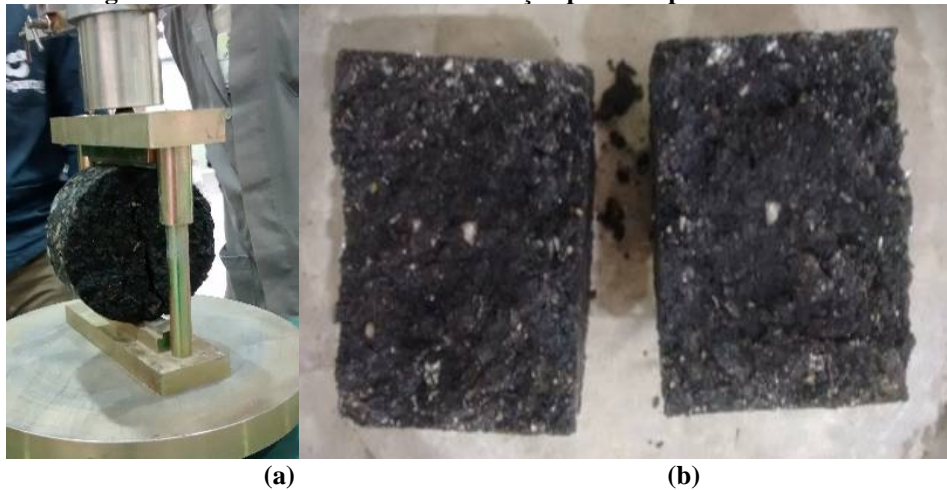


Fonte: O autor (2015)

Ensaio de resistência à tração por compressão diametral

Para determinação da resistência à tração, os corpos de prova extraídos em campo e os moldados em laboratório foram submetidos ao ensaio de resistência a tração por compressão diametral (Figura 6), conforme a norma DNIT 136/2010 – ME (BRASIL, 2010a).

Figura 39: Ensaio de Resistência à Tração por Compressão Diametral.



Fonte: O autor (2015)

Legenda: a) Corpos de prova na prensa de ensaio.

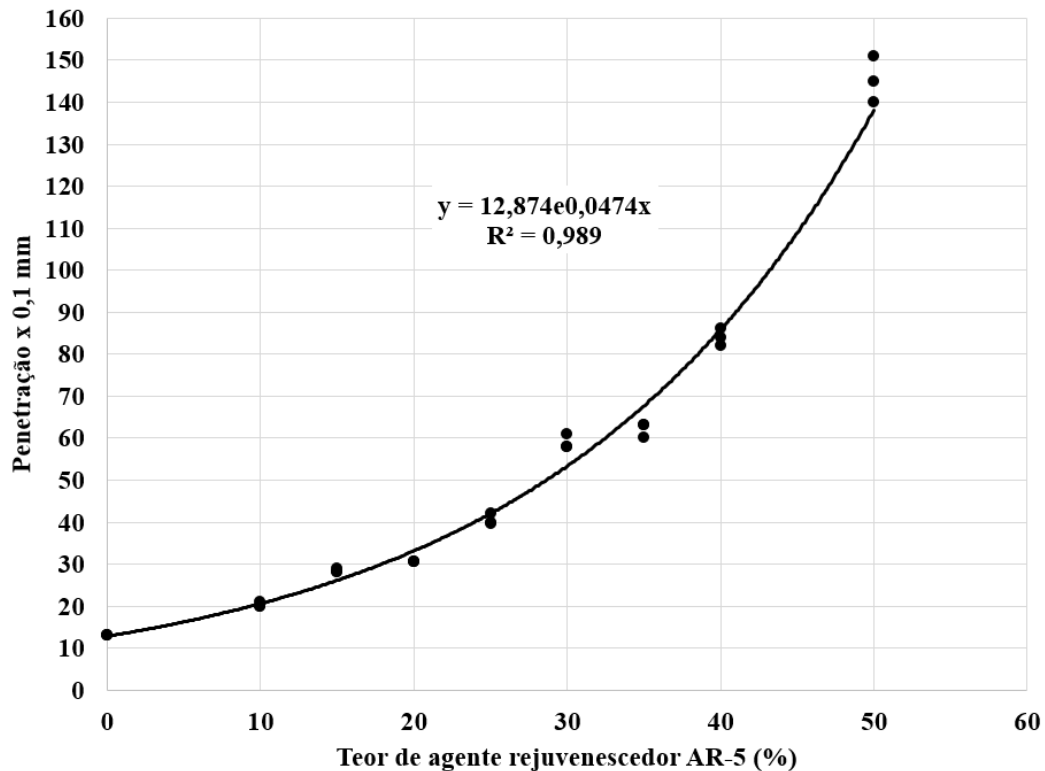
b) Aparência do corpo de prova ensaiado.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Determinação do teor ótimo de agente rejuvenecedor

Os resultados do ensaio de penetração são mostrados na Figura 7. Nesta Figura se observa a influência da adição do agente rejuvenecedor na penetração do ligante asfáltico envelhecido. Para este ensaio, foram utilizadas três amostras para cada teor de AR-5 adicionado ao ligante.

Figura 40: Gráfico Penetração em amostras com adição de AR-5



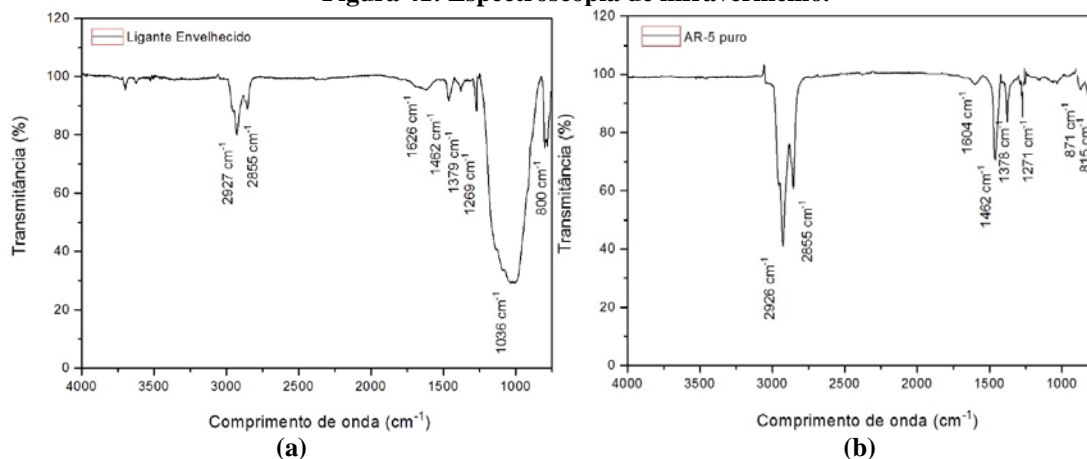
A partir da curva apresentada observamos que a penetração do ligante envelhecido puro, sem adições, foi de 13 x 0,1 mm, um valor muito abaixo de 50 x 0,1 mm. O valor da penetração aumentou com adição de AR-5 ao ligante, ou seja, diminuiu sua viscosidade a baixa temperatura. Compreende-se que é necessário adicionar 29 e 36% de AR-5 para que a penetração do ligante rejuvenescido atinja 50 x 0,1 mm e 70 x 0,1 mm, respectivamente.

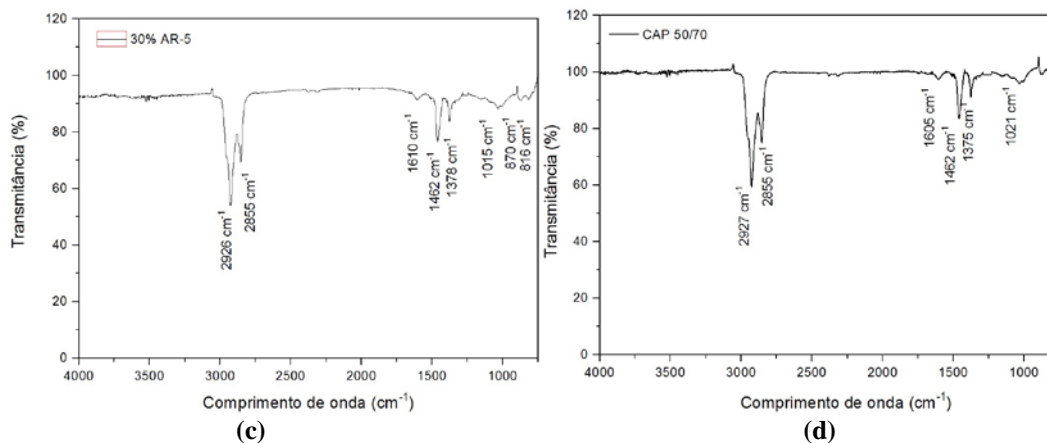
Ligantes com altos valores de penetração estão relacionados com consistências muito moles e baixos valores de viscosidade. Trabalhar com este tipo de ligante pode diminuir a resistência da mistura em campo. Por esse motivo, foi adotado o teor ótimo de 30% de AR-5, pois assim o ligante rejuvenescido atinge a penetração mínima de 50 x 0,1 mm, estabelecida para um ligante novo CAP 50/70.

Ensaio de espectroscopia de infravermelho (FTIR)

Os resultados do ensaio de espectroscopia de infravermelho são mostrados na Figura 8. O espectro do agente rejuvenescedor AR-5 (Figura 8b) evidenciou a presença de aromáticos em sua composição, absorção na banda 1462 cm^{-1} , confirmando sua capacidade de repor essa estrutura química em um ligante envelhecido. Logo, verificou-se que a oxidação, aparecimento da banda 1036 cm^{-1} , no ligante envelhecido (Figura 8a) foi eliminada com a adição de 30% de AR-5 (Figura 8c). Finalmente, comparando-se os espectros do ligante rejuvenescido (Figura 8c) e do ligante novo CAP 50/70 (Figura 8d), averiguou-se a proximidade dos grupos funcionais característicos expostos. Os dados obtidos da espectroscopia confirmam, portanto, que o objetivo de devolver a estrutura química perdida no processo do envelhecimento do ligante asfáltico foi atingido por meio da adição do AR-5.

Figura 41: Espectroscopia de infravermelho.





Fonte: O autor (2015)

- Legenda: a) Ligante envelhecido.
 b) Agente rejuvenescedor.
 c) Ligante rejuvenescido.
 d) Ligante CAP 50/70 novo.

Resistência à tração

Os valores de resistência à tração são apresentados na Tabela 2. Os dados mostram que a mistura com AR-5 apresentou um valor médio de resistência à tração de 1,152 MPa. Alguns corpos de prova extraídos em campo com sonda rotativa também foram rompidos a fim de obter um comparativo. Os seus resultados são mostrados na Tabela 3:

Tabela 14: Resistência à Tração das misturas recicladas com 30% AR-5

Corpo de prova	1	2	3	4	5
Resistência à Tração (MPa)	1,084	1,195	1,176	1,152	1,541*
Resistência à Tração média (MPa)	1,152				

Fonte: O autor (2015)

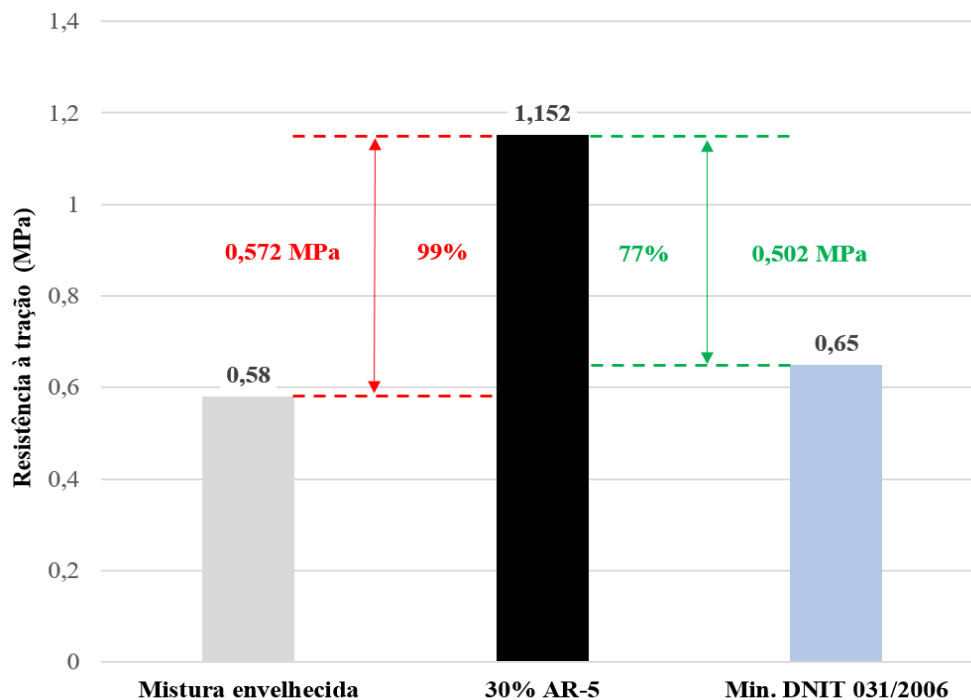
Nota: * Valor espúrio.

Tabela 15: Resistência à Tração dos corpos de prova extraídos em campo

Corpo de prova	1	7	8	10	12
Resistência à Tração (MPa)	0,616	0,631	0,585	0,506	0,562
Resistência à Tração média (MPa)	0,580				

Fonte: O autor (2015)

Comparando-se os valores médios de resistência à tração dos corpos de prova utilizados na pesquisa, percebe-se a diferença significativa da resistência das misturas rejuvenescidas em comparação com as misturas coletadas em campo. A mistura rejuvenescida com AR-5 apresenta um acréscimo de 0,572 MPa na resistência à tração em relação a mistura coletada em campo, o que representa aproximadamente, 99%. Além disso, a mistura rejuvenescida atende ao valor de resistência à tração de 0,650 MPa mínimo, exigido pela Norma DNIT 031/2006 – ES (BRASIL, 2006) (Figura 9).

Figura 42: Resistência à tração das misturas – comparativo.

Fonte: O autor (2015)

CONCLUSÕES

- O valor de penetração do ligante asfáltico envelhecido foi de 13 x 0,1 mm confirmando seu envelhecimento. A presença deste material causa uma alta rigidez à mistura asfáltica, tornando-a suscetível a fissuras e quebras.
- A adição de AR-5 incrementou exponencialmente o valor da penetração do ligante envelhecido. A adição de 30% do agente rejuvenescedor permitiu, ao ligante, atingir a penetração mínima de 50 x 0,1 mm, correspondente a um ligante novo, CAP 50/70.
- As análises realizadas por meio da espectroscopia de infravermelho evidenciaram a influência do AR-5 no rejuvenescimento do ligante envelhecido. O espectro do ligante rejuvenescido se aproximou muito de um ligante novo, portanto, as funções químicas voltaram ao seu equilíbrio com a presença do agente rejuvenescedor.
- Quanto ao parâmetro de resistência à tração, as misturas rejuvenescidas com AR-5 atingiram uma resistência, aproximadamente, 99% superior ao das misturas envelhecidas. A resistência foi superior, também, em, aproximadamente, 77% ao mínimo estabelecido por norma para misturas asfálticas novas.
- Espera-se que os resultados obtidos neste estudo contribuam para direcionar pesquisas futuras que visem à utilização de misturas asfálticas 100% recicladas. A aplicação desta técnica em obras de pavimentação permitiria a reciclagem eficiente da mistura asfáltica envelhecida evitando a exploração de novas jazidas de agregados e consumo de ligante asfáltico novo. A mistura reciclada pode ser utilizada tanto para conformação de revestimentos no mesmo local de onde foi retirada ou para locais com baixo volume de tráfego, como ruas vicinais de

municípios com baixos recursos econômicos, parques, ciclovias, nas quais não seria preciso um pavimento com altíssimo desempenho mecânico.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer às empresas SETEP CONSTRUÇÕES S.A. e Betunel Indústria e Comércio Ltda pelo fornecimento do material asfáltico envelhecido e Agente Rejuvenescedor AR-5, respectivamente. E ao Laboratório de Pesquisa em Materiais (LAPEM) da UNESC, localizado no IPARQUE, que forneceu o espaço e os equipamentos para extração do ligante asfáltico envelhecido.

REFERÊNCIAS

ALLINGER, N. L.; PEIXOTO, J. de S.; PINHO, L. R. N. de. **Química orgânica**. 2. ed Rio de Janeiro: Ed. Guanabara, 1978.

BERNUCCI L. B., MOTTA L. M. G., CERATTI J. A. P., SOARES J. B., **Pavimentação Asfáltica. Formação Básica para Engenheiros**. Rio de Janeiro. Petrobras. Abeda, 2006.

BRASIL. Departamento Nacional de Estradas De Rodagem (DNER). **DNER-ME 043/1995: Misturas betuminosas a quente - ensaio Marshall**. Rio de Janeiro: IPR, 1995.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). **DNIT 031/2006 - ES: Pavimentos flexíveis - Concreto asfáltico - Especificação de serviço**. Rio de Janeiro: IPR, 2006a.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). **DNIT 136/2010 - ME: Pavimentação asfáltica - Misturas asfálticas – Determinação da resistência à tração por compressão diametral – Método de ensaio**. Rio de Janeiro: IPR, 2010a.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). **DNIT 155/2010 - ME: Material asfáltico - Determinação da penetração - Método de ensaio**. Rio de Janeiro: IPR, 2010b.

CASTRO, L. N. **Reciclagem a Frio “In Situ” com Espuma de Asfalto**. 2003. 171 p. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil), Coordenação dos Programas de Pós Graduação em Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.

FERNANDES, P. R. N. **Caracterização de ligante asfáltico brasileiro e avaliação da presença de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA's)**. 2007. 86 f. Dissertação (Mestrado em Química Inorgânica), Departamento de Química Orgânica e Inorgânica, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2007.

LEITE, L. F. M.; CAPUDI, G. G.; JUNIOR, F. A.; GIAMPAGLIA, H. R. Emprego do Resíduo Pesado de Óleo de Xisto como Agente de Reciclagem para Asfaltos. Encontro de Asfalto, 10º. IBP, 1990, Rio de Janeiro. 10º Encontro de Asfalto IBP, 1990.

MORALES, M. G.; PARTAL, P.; NAVARRO, F. J.; *et al.*. Viscous properties and microstructure of recycled eva modified betumen. **Fuel**, v. 83, 2004, p.31-38. MOTHÉ, Michelle Gonçalves. **Estudo do comportamento de ligantes asfálticos por reologia e análise térmica**. 2009. 182 f. Dissertação (Mestrado em Ciências), Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

OYEKUNLE, L. O. Influence of Chemical Composition on the Physical Characteristics of Paving Asphalts. **Petroleum Science and Technology** , v.25, p. 1401-1414, 2007.

REIS, A. C. C. **Propriedades Mecânicas de Misturas Asfálticas Recicladas em Usina Protótipo de Escala Reduzida**. 114 p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Transportes, Departamento de Ciências e Tecnologia, Instituto Militar de Engenharia. Rio de Janeiro, 2013.

SOBRATEMA - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE TECNOLOGIA PARA CONSTRUÇÃO E MINERAÇÃO. Tecnologias viabilizam a aplicação de asfalto reciclado. **Revista Manutenção e Tecnologia**, ed. 152, 2011.

TONIAL, I. A. Efeito do tempo de transporte da massa asfáltica sobre o envelhecimento do CAP. **Asfalto em Revista**, n. 7, Ano 1, p. 17-19, 2009.

ZAUMANIS, M. et al. 100% recycled hot mix asphalt: A review and analysis. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 92, p. 230-245, 2014a.

ZAUMANIS, M. et al. Determining optimum rejuvenator dose for asphalt recycling based on Superpave performance grade specifications. **Construction and Building Materials**, v.69, p. 159-166, 2014b.