

RECICLAGEM DE MATERIAL ASFÁLTICO FRESADO COM A UTILIZAÇÃO DE SOLVENTES E MICROEMULSÕES

Tereza Neuma de Castro Dantas¹ (UFRN), Eduardo Lins de Barros Neto¹ (UFRN),
Fernando Francisco Gomes Filho¹ (UFRN), Renata Isac Pereira de Souza¹ (UFRN).

¹Av. Governador Tarcísio de Vasconcelos Maia, 1798. Condomínio da Integração, Bloco D, Apto. 304,
Candelária, CEP: 59.065-780, Natal/RN, fernando_fgf@ig.com.br.

O crescimento contínuo das cidades, o avanço da agricultura e a industrialização levaram os governos a investir na construção de estradas para interligar as cidades e melhorar o escoamento da produção. Com o passar do tempo essas vias foram se desgastando e na maioria das vezes a solução encontrada foi o recapeamento, entretanto, o desnível deixado entre as faixas de rolamento e acostamento contribuiu na causa de acidentes. Quando as rodovias estão com os pavimentos envelhecidos e o desgaste é intenso não adianta passar uma nova capa asfáltica. A solução utilizada normalmente para corrigir esses problemas é a fresagem do pavimento, técnica que consiste em arrancar camadas do mesmo utilizando uma fresadora asfáltica. O grande desafio é dá um destino razoável a esse material que por muito tempo foi considerado um rejeito da construção civil. O material rejeitado é constituído de brita, areia, *filler* e CAP (Cimento Asfáltico de Petróleo). Normalmente esse material é descartado nos *off-sets* dos aterros ou em bota-fora determinado pela fiscalização da obra, contudo, os órgãos ambientais estão intensificando as exigências quanto ao que se diz respeito aos impactos ambientais em obras civis e aos seus resíduos (CONAMA, Resolução Nº. 307 de 05 de julho de 2002). Existem atualmente dois tipos de reciclagem para rejeitos de fresagem: no primeiro, o material recebe uma nova dosagem de asfalto (CAP) e é aplicado imediatamente no pavimento, e no segundo, o material é inserido no processo de fabricação do CBUQ (Concreto Betuminoso Usinado a Quente) como agregado, numa proporção adequada. A nossa proposta de trabalho é de uma nova técnica de reciclagem utilizando solventes e microemulsões, onde em ensaios realizados revelou-se muito promissora devido à simplicidade da extração e a grande eficiência do processo. Os solventes foram avaliados e classificados quanto à eficiência de extração e em seguida utilizados na elaboração de microemulsões para fazer a extração. Os solventes de cadeias aromáticas como Benzeno, Xileno e Tolueno foram os melhores extratantes, mas os solventes de cadeia longa como o Diesel e LCO (Liquid Cycle Oil) também apresentaram boa eficiência. O processo de reciclagem com solventes consiste em extrair o CAP da mistura betuminosa e, através de destilação, recuperar o solvente para ser reutilizado. A caracterização do CAP se faz necessária para analisarmos as características físicas e químicas do material resultante e confrontarmos com o produto padrão. Nessa nova técnica poderemos ter um ganho ambiental e econômico substancial devido à recuperação de todos os constituintes da mistura asfáltica, evitando que novos agregados minerais e produtos asfálticos sejam utilizados na preparação de uma mistura.

Reciclagem Asfáltica-1, Solventes-2, Microemulsões-3.

1. INTRODUÇÃO

Nesse trabalho foi avaliada a capacidade de solubilização do CAP da mistura betuminosa em solventes e microemulsões, medindo a eficiência como extratores.

Rotineiramente, prefeituras, governos estaduais e governo federal utilizam o serviço de recapeamento das rodovias para fazer a manutenção de trechos danificados. Tal intervenção causou o inconveniente da elevação no greide do pavimento, ou seja, são capeamentos sucessivos que promovem o desnivelamento entre a faixa de rolamento e o acostamento ou meio-fio, podendo acarretar em acidentes graves entre outros prejuízos.

Adotou-se o serviço de fresagem asfáltica para solucionar esse problema que consiste na retirada de camadas sucessivas de asfalto através de uma fresadora asfáltica. O grande empecilho desse serviço são os resíduos oriundos da fresagem que até então tinha pouca utilidade na engenharia rodoviária brasileira.

Estima-se que nos Estados Unidos cerca de 27 milhões de toneladas de ligante asfáltico e meio bilhão de toneladas de agregados sejam consumidos a cada ano na construção e manutenção de rodovias (Peterson et al., 1994).

No Brasil apenas na década de 70 que começou a se pensar em reciclagem asfáltica, executados em algumas ruas da capital paulista, utilizando usinas do tipo *Drum-Mixer* (Alvim, 1999).

A associação de reciclagem asfáltica dos Estados Unidos (*The Asphalt Recycling and Reclaiming Association-ARRA*) definiu cinco categorias principais de diferentes métodos de reciclagem: a frio (*Cold planning*); a quente (*Hot recycling*); a quente in situ (*Hot in-place recycling*); a frio in-situ (*Cold in-place recycling*); de camadas do pavimento (*Full depth reclamation*) (Kandhal, 1997).

Os métodos de reciclagem acima citados podem ser classificados em dois grupos: a frio e a quente.

A reciclagem a frio utiliza a técnica da fresagem na qual o pavimento asfáltico é removido a uma profundidade desejada e depois restaurado através da confecção de uma nova camada superficial. Este método permite a correção do greide da pista, inclinações, ondulações e deformações na camada superficial.

A reciclagem a quente consiste no método pelo qual o pavimento asfáltico existente é removido por intermédio de uma fresadora ou outro equipamento capaz de arrancar a camada superficial total ou parcial a uma profundidade previamente estabelecida, em seguida o material é transportado para estocagem e reciclado em uma usina. São utilizados dois tipos de usinas para a reciclagem do asfalto removido as gravimétricas ou verticais (*Batch Plants*) e as horizontais (*Drum Mixer*), (Asphalt Institute, 1986).

As técnicas de aplicação e compactação de misturas asfálticas recicladas são as mesmas empregadas para as misturas convencionais.

The *Federal Highway Administration* (FHWA), 1996 apresentou os resultados das pesquisas feitas em 17 estados norte-americanos sobre o desempenho de misturas asfálticas recicladas, realizadas no período compreendido entre 1992 e 1995. Esta pesquisa mostrou que aproximadamente 33% dos pavimentos asfálticos fresados são reciclados. O consenso destes estados foi de que misturas asfálticas recicladas possuem desempenho igual, ou melhor, que as misturas asfálticas convencionais, desde que projetadas e produzidas adequadamente.

Embora esses resultados sejam muito expressivos alguns pesquisadores mostraram que é muito difícil controlar alguns parâmetros de fabricação como a granulometria, teor de betume, grau de oxidação do CAP, índice de vazios e sua estabilidade. Esses ensaios são adotados pelo Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transporte (DNIT) como parâmetro de qualidade na execução da mistura.

O método químico de reciclagem ainda é pouco estudado, pois emprega substâncias nocivas ao homem e ao meio ambiente encontrando resistência a sua exploração. Vários estudos foram realizados na obtenção de métodos e solventes para extração de asfalto.

O procedimento mais utilizado para a extração de asfalto de misturas betuminosas é o preconizado pela norma americana ASTM D2172 (extração de asfalto de misturas betuminosas). Este procedimento determina cinco modalidades para a extração do betume.

O Método A (extração por centrifugação) e o método B (extração por refluxo) são os mais comumente usados; os métodos C e D são variações do método B, e são pouco usados. O método E é a extração de asfalto a vácuo, que não foi amplamente difundido. Segundo Burr et al, 1990, o método de extração por refluxo pode causar um aumento no envelhecimento do asfalto. O método A também possui desvantagem tendo em vista que o consumo de solventes para extração é bastante elevado.

O método B foi avaliado experimentalmente neste estudo de reciclagem de material asfáltico onde foram selecionados alguns solventes para testar a sua capacidade de extrair o CAP da mistura. Sabe-se que os solventes aromáticos, o tetra cloreto de carbono e o tricloroetileno são os melhores solventes com esse fim no mercado, mas a tendência é substituí-los por solventes menos agressivos a saúde do homem e ao meio ambiente.

De posse dos melhores solventes foram selecionados tensoativos e cotensoativos de baixo custo para o posterior desenvolvimento de microemulsões capazes de extrair o CAP, reduzindo os riscos provenientes dos solventes puros.

As microemulsões foram avaliadas quanto: à capacidade de solubilizar o asfalto, rendimento e a composição. A extração por microemulsão depende do tipo de: solvente, tensoativo, cotensoativo, razão entre cotensoativo e tensoativo.

Os líquidos precursores são constituídos por: água, cotensoativos e tensoativo, utilizando o óleo do próprio asfalto para formação de microemulsão durante a extração, também foram avaliados quanto à solubilização do CAP, viabilizando a sua aplicabilidade haja vista a estabilidade das microemulsões depois de formadas.

A avaliação da extração por solventes, microemulsões e líquidos precursores foi realizada por balanço de massa.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Kandhal et al, 1995, Paul, 1996 e Decker, 1997 nos estudos sobre pavimentos reciclados nos estados da Geórgia e Louisiana (USA) respectivamente, mostraram não haver diferenças significativas no desempenho entre misturas recicladas e convencionais, após alguns anos de uso.

Solaimanian, 1995 pesquisando misturas asfálticas recicladas recém aplicadas, com teores de fresado variando entre 35% a 50%, encontraram grande variação na granulometria, volume de vazios e estabilidade, comparados com revestimentos asfálticos convencionais também recém aplicados o que torna este estudo coerente com os dados experimentais e operacionais.

Devido ao elevado grau de toxicidade do tricloroetileno, existe uma tendência atual pela substituição desse solvente por outros alternativos não tóxicos, por exemplo, NEUGENIC 4175, ou utilização de procedimentos como queima do asfalto fresado convertendo-o em dióxido de carbono e água (*ignition oven*), sendo ambos mais seguros e menos poluentes (Behrens et al., 1999).

Garcia et al, 2000, investigaram o uso do solvente n-Propil Brometo e concluíram que poderia substituí-lo pelo tricloroetileno nos processos de extração por refluxo com a vantagem da reutilização em novas operações de extração.

MacGraw et al. (2001), do Minnesota Department of Transportation investigaram a utilização do n-Propil Brometo, em substituição do d-Limoneno e Tricloroetileno como extratores de CAP em misturas betuminosas e encontraram resultados promissores, pois os óleos vegetais como d-Limoneno apresentavam desvantagem em relação ao n-Propil Brometo pela dificuldade de recuperação do solvente.

Estudos recentes realizados por Oliveira, 2004 sobre remediação de solos contaminados por compostos orgânicos, utilizando líquidos precursores formados por água, tensoativos e cotensoativos revelaram que as soluções tinham baixa eficiência de extração devido à alta hidrofobicidade da amostra. Também foram apresentados resultados na extração de CAP com alguns óleos vegetais como Terpeno e o d-Limoneno inseridos em microemulsões e os resultados foram animadores.

3. METODOLOGIA

A metodologia empregada na solubilização de asfalto fresado baseia-se em normas e procedimentos encontrados na literatura e em especificações de serviços da ABNT e DNIT.

3.1 Extração por refluxo

O equipamento utilizado para promover a extração de CAP através de refluxo de solvente foi *Soxlet*. Esse equipamento é dotado de um balão de 250ml, câmara de refluxo e condensador. Para realizar o aquecimento foi utilizado uma manta térmica cuja temperatura pode alcançar até 200°C e um banho termostato da marca Tecnal, TE-184 cuja temperatura da água de resfriamento foi ligada ao condensador para que não houvesse desperdício de água e garantisse a permanência do solvente no sistema.

Para cada experimento foi utilizado 150ml de solvente entre eles os aromáticos: Tolueno e Xileno, os de cadeia linear curta: hexano, heptano e os de cadeia linear longa (Aguarrás, Diesel, LCO, Querosene, Gasolina e Nafta). A temperatura era a de ebulição dos solventes como pode ser visto na Tabela 1. O LCO é uma fração de destilação bem próxima do Diesel, portanto, os seus pontos de ebulição devem ser equivalentes.

Tabela 1: Caracterização dos solventes avaliados.

Solventes	Fórmula	Solubilidade em água	Densidade (g/cm ³)	PE (°C)	PM (mol)
Aguarrás	Mistura	Insolúvel	0,700-0,800	153-216	-
Diesel	Mistura	Insolúvel	0,800-0,850	190-399	-
Gasolina	Mistura	Insolúvel	0,670-0,700	14-135	-
Heptano	C ₇ H ₁₆	Insolúvel	0,684	98,4	100,21
Hexano	C ₆ H ₁₄	Insolúvel	0,659	68,7	86,17
LCO	mistura	Insolúvel	-	-	-
Nafta	mistura	Insolúvel	0,750	93-149	-
Querosene	C _n H _{2n+2}	Insolúvel	0,800	200-260	-
Tolueno	C ₇ H ₈	muito baixa	0,867	110,6	92,14
Xileno	C ₈ H ₁₀	Insolúvel	0,864	131,9	106,16

Fonte da Tabela 1: Perry, 1963.

Foram utilizados 25g de CBUQ provenientes da BR-101RN sul, km 149 a 154, próximo ao município de Goianinha. O material foi recolhido de defeitos no pavimento cujo controle tecnológico é desconhecido, sua aparência é de asfalto não oxidado com pouco tempo de execução. O CBUQ foi triturado e peneirado, foram utilizados os materiais que ficaram retidos nas peneiras de mesh 18, 16 e 9, essa metodologia foi adotada para facilitar o trabalho de bancada, pois sem essa granulometria dos agregados os erros provavelmente aumentariam devido à quantidade da amostras a serem analisadas.

O solvente foi aquecido até a temperatura de ebulição, esse na fase gasosa ao entrar em contato com a câmara fria se condensa, gotejando na cápsula que contém o CBUQ, em seguida a câmara de refluxo é totalmente preenchida com o extratante. Acoplado a câmara de extração esta um tubo capilar cuja função é regular o nível de solvente, pois quando esse nível é máximo forma-se uma espécie de vazo comunicante que por sua vez arrastará todo o conteúdo da câmara para o balão de vaporização, o solvente então entra em refluxo e o CAP extraído ficará contido no balão.

Foi adotado o tempo de 15 ciclos de refluxo para ser feita a comparação das extrações através do rendimento, possibilitando selecionar os melhores extratores. Esse tempo varia com o solvente, pois depende da ebulição do mesmo.

Pelas normas de pavimentação (DNIT-031/2004-ES) as misturas betuminosas usinadas a quente de faixa C tem como teor de betume entre 4,5 e 9,0% em massa, portanto essa faixa é o nosso objetivo de recuperação de CAP.

3.2 Tenssoativos

Os tenssoativos são substâncias orgânicas que possuem na sua estrutura grupos com tendências de solubilidade opostas, tipicamente uma cadeia hidrocarbônica (em geral com 10 a 20 átomos de carbono) solúvel em óleo e em um grupo polar (hidrofílico) solúvel em água. Esta particularidade lhe confere uma variedade de propriedades: solubilidade, adsorção às interfaces, orientação na interface, formação de micelas (agregados) e propriedades funcionais (Salles, 2000).

As principais características do uso de tenssoativos estão relacionadas à formação de ambientes organizados, também conhecidos como ambientes micelares (Weest, 1992).

Os tenssoativos são classificados de acordo com as características do grupo polar da molécula e são divididos em quatro classes: aniônicos, catiônicos, anfóteros e não-iônicos. Esta classificação é baseada na dissolução do tenssoativo em água.

O efeito fundamental da aplicabilidade de tenssoativo é a redução da tensão interfacial, pois para formação espontânea dos sistemas microemulsionados, a tensão interfacial deve ser próxima de zero.

Os tenssoativos iônicos A e B foram selecionados por apresentarem a capacidade de reduzir a tensão interfacial entre a fase oleosa e a fase aquosa, facilitando a liberação do CAP adsorvido nos agregados, promovendo a alta solubilidade da fase óleo. Os tenssoativos iônicos são estáveis termicamente, apresentam baixa toxicidade, apresentam baixo custo e são biodegradáveis, pois derivam da síntese de óleos vegetais facilmente encontrados na região nordeste.

3.4 Microemulsões

A palavra microemulsão foi inicialmente proposta por J. Schulman em 1959, quando foi observado que a adição de um álcool de cadeia curta a uma macroemulsão, contendo água, benzeno, hexano e oleato de potássio, tornava o sistema transparente (Lindman, 1999).

Microemulsões são, de forma geral, definidas como sistemas termodinamicamente estáveis, isotrópicos e transparentes de dois líquidos imiscíveis, (usualmente água e óleo), estabilizados por um filme de compostos tenssoativos e cotenssoativo, localizados na interface óleo/água. O diâmetro das gotas é da ordem de 10 a 100 nm e sua forma é independente da ordem de mistura de seus componentes, mas requer altas concentrações de tenssoativos, baixa tensão interfacial e um balanço hidrofílico-lipofílico (BHL) adequado.

As microemulsões são fisicamente diferenciadas das emulsões, pelo tamanho das partículas, sendo maior que 0,1 µm, o que confere as emulsões à cor branca-leitosa e ausência de transparência.

Nas formulações ricas em óleo, a parte dispersa é formada por micelas inversas, aproximadamente esféricas. Estes agregados são constituídos de um centro aquoso rodeado por um filme monomolecular contendo moléculas de tenssoativo e cotenssoativo, tendo em volta um meio contínuo constituído de óleo e álcool (Moura, 1997).

Nas microemulsões ricas em água, a fase dispersa é formada por micelas diretas constituídas de uma parte central ocupado pelo óleo, rodeado por um filme monomolecular contendo moléculas de tenssoativo e cotenssoativo, tendo em volta um meio contínuo aquoso (Moura 1997).

As formações bicontínuas são constituídas por camadas de óleo e água intercaladas. A função do tenssoativo é separar partes contínuas de óleo e água em um caminho termodinamicamente estável.

Nesse estudo de reciclagem asfáltica foram utilizadas microemulsões óleo em água, visando à solubilização na fase dispersa que vem sendo amplamente estudada, pois reduz o teor de solvente nos sistemas.

3.6 Cotenssoativos

O cotenssoativo é uma molécula não iônica que tem a função de estabilizar a microemulsão, diminuindo a repulsão entre as partes hidrofílicas do tenssoativo, destacam-se os álcoois de cadeias carbônicas curtas e médias, pois são capazes de reduzir significativamente a tensão interfacial entre a fase aquosa e oleosa, aumentando substancialmente a capacidade de solubilização da microemulsão.

Nesse estudo foi avaliado experimentalmente o cotenssoativos álcool n-butanol.

3.7 Digrama de fases

O diagrama de fases é um recurso que se usa na preparação das microemulsões com o objetivo de se obter uma combinação crítica entre os componentes, isto é, a solubilização máxima da fase dispersa. O diagrama

descreve, em condição experimental, que é possível obter microemulsões e as regiões limites de transição entre emulsões, fases descontinuas e microemulsões óleo/água e água/óleo.

Na representação dos domínios de existência das microemulsões são utilizados os diagramas de fases: ternário (Figura 1a), quaternário (Figura 1b) ou pseudoternário esse para quatro constituintes, onde fase aquosa, fase oleosa e a razão tensoativo/cotensoativo são representadas nos vértices do triângulo como pode ser observado na Figura 1c.

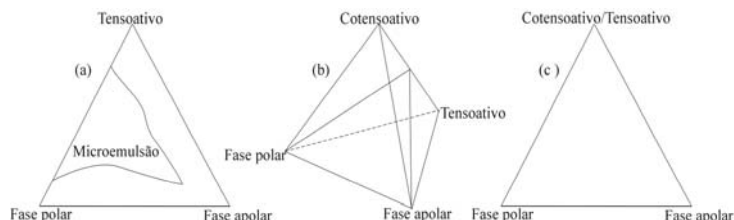


Figura1. (a) diagrama de fases ternário; (b), diagrama quaternário (c) diagrama pseudoternário.

Sistemas com quatro constituintes necessitam de uma representação tridimensional do tipo tetraédrica, assim como a representação da Figura 1b. Contudo esta representação oferece uma difícil construção, visualização e interpretação ao estudo de sistemas de quatro constituintes. Para facilitar a representação destes sistemas microemulsionados (água, óleo, tensoativo e cotensoativo), se agrupam dois constituintes que são representados como um só e diz-se que estes formam um “pseudoconstituente” puro.

Normalmente utilizam-se dois tipos de relações constantes: relação água/tensoativo ou cotensoativo/tensoativo. A primeira relação é mais empregada em estudos de difusão de luz e a segunda no estudo do comportamento de fases da microemulsão (Silva, 2000).

A região de microemulsão dentro de um diagrama pseudoternário apresenta estruturas diferentes em determinadas posições do diagrama. De acordo com a Figura 2 podemos verificar estas estruturas.

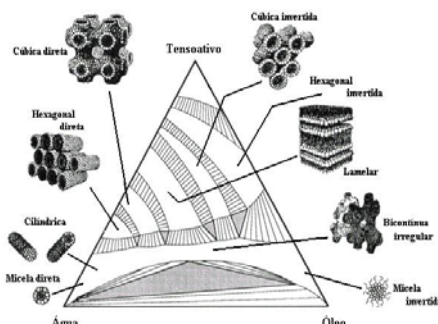


Figura 2. Estruturas de microemulsão em um diagrama pseudoternário.

4. RESULTADOS

Após seleção dos solventes foram realizados testes para determinação da eficiência na extração asfáltica, utilizando o equipamento Soxhlet.

As Figuras 3 e 4 ilustram o desempenho e o tempo de extração de betume com os solventes relacionados.

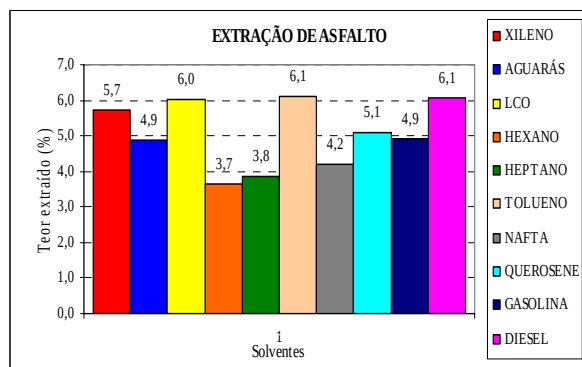


Figura 3. Taxa de extração de betume em relação aos solventes relacionados.

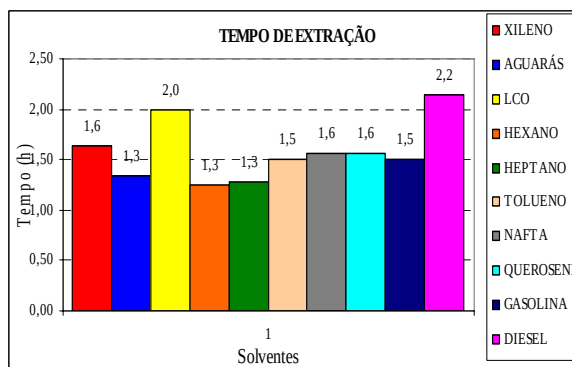


Figura 4. Tempo de extração em função dos solventes relacionados

Na Figura 3 temos os resultados da extração que confirma os dados da literatura onde os solventes aromáticos e os de cadeia longa apresentaram os melhores rendimentos.

A Figura 4 ilustra o tempo de extração do betume, possibilitando determinar o poder de solubilização, ou seja, quanto menor o tempo de extração mais eficiente será o sistema. Os solventes Hexano, Heptano apresentaram eficiência de extração baixa (Figura 3), porém, resultados significativos quanto ao tempo. O ideal é que o tempo de extração esteja aliado ao poder de extração. Desta forma foram selecionados os melhores extratores na ordem decrescente temos: Tolueno, Xileno, LCO, Diesel e Querosene.

Os diagramas pseudoternários foram elaborados, utilizando os melhores solventes obtidos na extração por refluxo. Nessa etapa pontos das regiões de microemulsão solubilizam o CAP em substituição dos solventes puros, viabilizando a aplicabilidade devido à redução da toxicidade no processo. Ressalta-se que com os óleos de girassol e soja não foi possível obter os parâmetros de extração no equipamento utilizado devido aos seus elevados pontos de ebulição.

4.2 Elaboração das microemulsões

As microemulsões utilizadas para a solubilização do asfalto serão do tipo óleo em água (O/A) onde a fase aquosa é a água destilada, o tensoativo iônico A (oriundo de óleos vegetais), o cotensoativo Butanol e a fase óleo são os solventes que melhor extraíram no Soxlet (Tolueno, Xileno, LCO, Diesel e Querosene). A razão C/T que forneceu maior região de microemulsão indica maior perspectivas para este estudo, devido a maior área proporcionada para investigação da solubilização, principalmente regiões ricas em água.

A Figura 5 ilustra os diagramas pseudoternários de onde foram delimitadas as regiões de investigação da solubilização do asfalto.

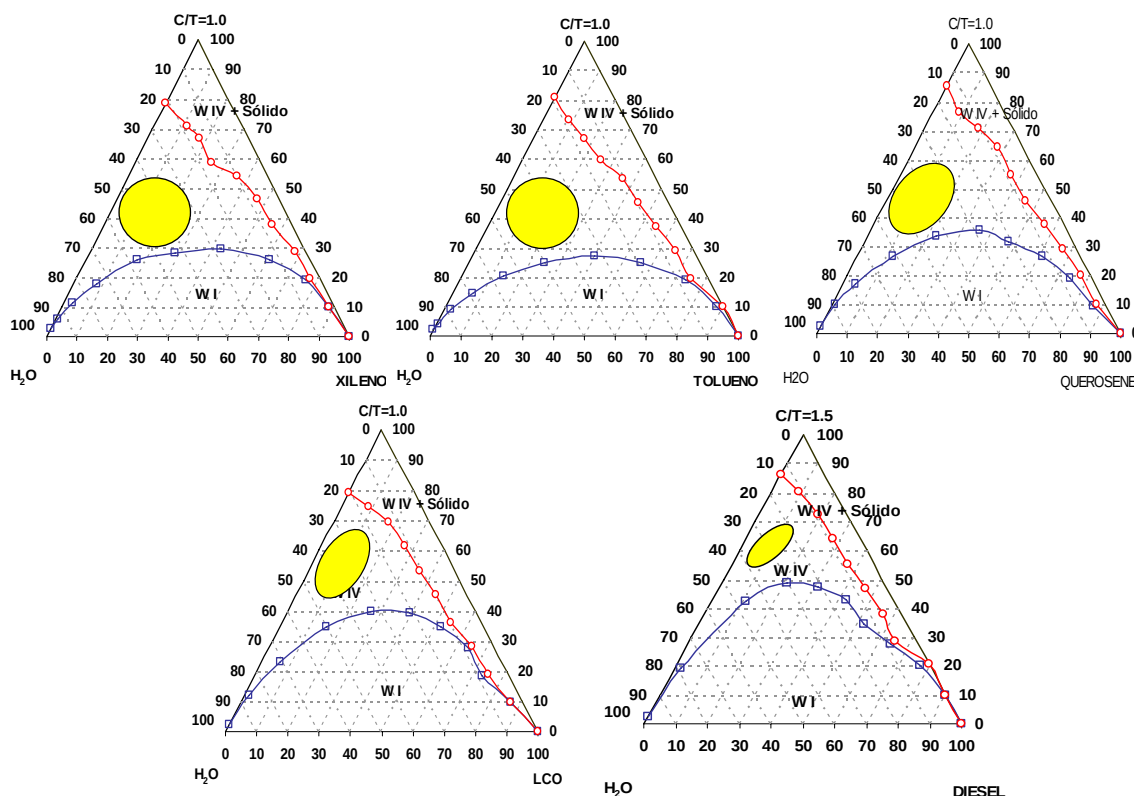


Figura 5. Diagrama pseudo ternário utilizados na formulação de microemulsão na solubilização do CAP.

Foram realizados testes com diversas razões C/T (0,5; 1,0; 1,5 e 2,0), e foi observado que com o aumento da razão C/T aumenta-se a área de microemulsão nos diagramas, principalmente com o uso dos aromáticos e Querosene. Com o Diesel e o LCO, o comportamento foi parecido, mas a área de microemulsão é bem mais reduzida devido ao aumento de tamanho da cadeia, dificultando a formação das micelas. Visando a redução dos custos e a eficiência dos testes, foram utilizadas razões baixas porque a partir da razão C/T=1,5 temos, praticamente, uma constância na região de microemulsão.

Na Tabela 2 definimos as melhores composições dos pontos de microemulsão de acordo com as regiões dos diagramas pseudoternários e os tipos de óleos avaliados.

Tabela 2: Caracterização das microemulsões quanto ao teor de seus componentes.

Solventes	C/T	Cotenoativo (%)	Tenoativo (%)	Óleo (%)	Água (%)
Diesel	1,5	25	25	10	40
		25	25	20	30
		25	25	30	20
LCO	1,0	20	20	10	50
		20	20	20	40
		25	25	30	20
Querosene	1,0	20	20	10	50
		20	20	20	40
		20	20	30	30
Tolueno	1,0	15	15	10	60
		15	15	20	50
		20	20	30	30
Xileno	1,0	15	15	10	60
		15	15	20	50
		20	20	30	30

Os dados da Tabela 2 foram utilizados na preparação das microemulsões e líquidos precursores para extração de CAP.

4.3 Testes de extração com líquidos precursores

Foram efetuados dois ensaios utilizando líquidos precursores constituídos de água, tensoativo e cotenoativo com várias concentrações para avaliação da capacidade de extração. Esses dados estão expressos na Figura 6.

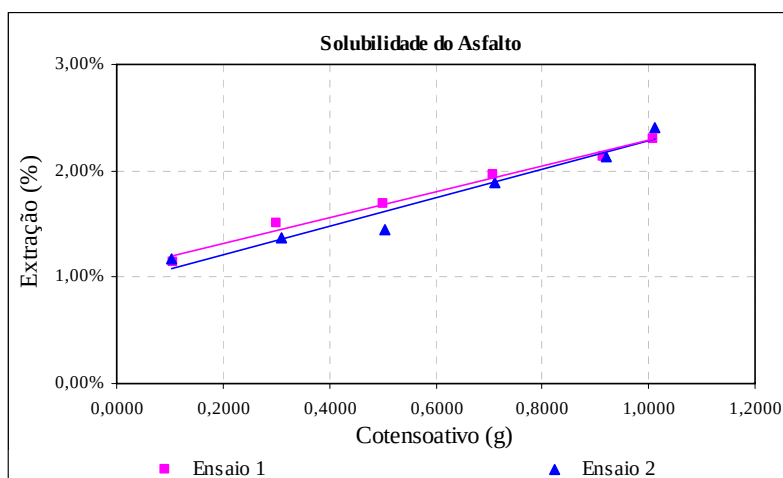


Figura 6. Extração de CAP em função da concentração de cotenoativo na mistura precursora.

Os resultados encontrados referentes à extração de CAP (Figura 6) com soluções precursoras mostram que o cotenoativo além de promover a estabilidade da microemulsão também trabalha como agente de solubilização, portanto, quanto maior a concentração de cotenoativo maior será a extração de CAP ou parte dele. Esta avaliação foi realizada após a análise da microemulsão resultante da extração, determinando assim o que foi solubilizado.

4.4 Teste de extração com microemulsões O/A.

Foram realizados diversos ensaios de solubilização com as microemulsões a partir dos solventes de melhor rendimento no Soxlet. Os parâmetros aplicados foram: a razão C/T que propiciou melhores condições nos diagramas ternários, as maiores regiões de microemulsão, principalmente as ricas em água, pois o processo de solubilização asfáltica funciona como um encapsulamento na região dispersa. Os solventes, Tolueno, Xileno, LCO e Querosene, apresentaram as melhores regiões de microemulsão com a razão C/T=1, enquanto com o Diesel foi com 1,5.

Na Figura 7 temos uma avaliação do comportamento das extrações com os diversos solventes.

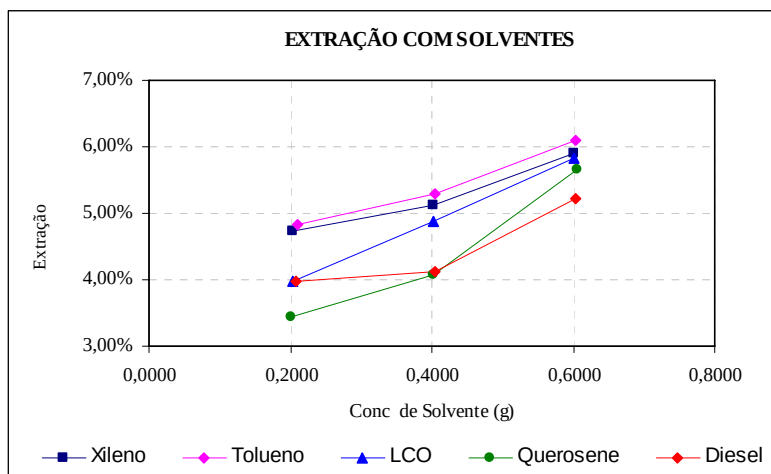


Figura 7. Extração de CAP em função da concentração de solvente na microemulsão.

Na Figura 7 pode ser observado que as microemulsões que apresentaram os melhores resultados de extração são constituídas por solventes aromáticos, mas as microemulsões com LCO, Diesel e principalmente Querosene apresentaram bons resultados tornando-se, portanto, promissores substitutos dos aromáticos.

5. CONCLUSÃO

A reciclagem do asfalto fresado visa reduzir os danos ambientais causados por esse rejeito, levando em consideração o valor econômico agregado e os benefícios proporcionados.

Dos métodos químicos aplicados os solventes puros apresentaram melhores resultados quanto à extração de CAP, devido à possibilidade de recuperação e reaproveitamento do extratante o que viabiliza o processo, necessitando implantar sistemas de filtração e destilação eficientes.

O Tolueno e o Xileno são solventes de baixo ponto de ebulição e alto poder de extração por refluxo, para sistemas fechados, mas são tóxicos ao homem e ao meio ambiente, necessitando de substituição.

O LCO, Diesel e o Querosene tiveram resultados promissores, quanto à capacidade de extração, mas apresentam elevado ponto de ebulição e toxicidade moderada.

As microemulsões se mostraram como uma alternativa de substituição aos solventes puros, diminuindo o grau de periculosidade no seu manuseio, nos riscos de explosão e na quantidade de solventes a serem utilizados. A extração com microemulsão se mostrou eficaz com todos os solventes, mas os aromáticos, LCO e Querosene utilizaram razão C/T menor, significando redução de custos.

A dificuldade da aplicação de sistemas microemulsionados na extração de CAP está na regeneração e reaproveitamento após a extração. Por se tratar de um sistema de multicomponentes com quantidades específicas para sua formação, podem ocorrer perdas por agregação, volatilização dos seus constituintes alterando a sua composição, descaracterizando-a, inviabilizando a sua reutilização, elevando os custos desse processo.

Com o aumento da salinidade ocorre a separação da microemulsão do CAP, porém para que o este seja reutilizado é preciso que esteja isento de materiais particulados e solventes. Portanto, nos casos estudados os custos de separação influenciam diretamente na implantação operacional.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq pelo suporte financeiro concedido para a realização deste trabalho a Agência Nacional de Petróleo (PRH-ANP 14) pela estrutura concedida e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química (PPGEQ-UFRN).

7. REFERÊNCIAS

- ALVIM, I.M. **Fresagem e reciclagem de pavimentos e suas aplicações na restauração de rodovias**, 1999. www.fresar.com.br.
- BEHRENS, M.L.; DVORAK, B.I. e WOLDT, W.E. **Comparison of asphalt extraction procedures: implications of hidden environmental and liability cost**. National Research Council, Washington, D.C., 1999.

- BURR, B.L.; DAVISON, R.R.; GLOVER, C.J. e BULLIN, J.A. **Solvent removal from asphalt**. Transportation Research Board-TRB 1269, Washington, DC, p. 1-8, 1990.
- DECKER, D. **Hot Mix Recycling: State-of-the-Practice**. Proceedings Association of Asphalt Paving Technologists-AAPT, USA, v.66, 1997.
- GARCIA, H. C.; TIA, M.; ROQUE, R.; CHOUBANE, B. **In Evaluation of an alternative solvent for extraction of asphalt to reduce health and environmental hazards**. Transportation Research Board-TRB, Washington, D.C., 2000.
- KANDHAL, P.S.; RAO, S.S.; WATSON, D.E. e YOUNG, B. **Performance of recycled hot-mix asphalt mixture in Georgia**. Transportation Research Record 1507, National Research Council, Washington, D.C., 1995.
- KANDHAL, P. **Recycling of Asphalt Pavements-an Overview**. Proceedings Association of Asphalt Paving Technologists-AAPT, USA, v.66, 1997.
- LINDMAN, B., FRIBERG, S.E. **Microemulsions – A historical overview in handbook of microemulsion**. Science and Technology. 1 ed., Marcel Dekker, Inc. New York., 1999.
- MCGRAW J., IVERSON D., SCHMIDT G., OLSON J. **Selection of an alternative asphalt extraction solvent**. Minnesota Department of Transportation Office of Materials and Road Research 1400., Minnesota, USA, 2001.
- MOURA, M.C.P.A. **Otimização do processo de recuperação de cromo de efluentes de curtumes por Microemulsões no Extrator Morris**. Dissertação (Doutorado em Engenharia Química) Orientador DANTAS, T. N. C.– Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Química, Programa de Pós Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 1997.
- OLIVEIRA M. **Remediação de solos contaminados por compostos orgânicos utilizando-se microemulsão**. Out. 2004 80 p. Dissertação (Doutorado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais) Orientador OLIVEIRA, J. F., Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais - COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2004.
- PAUL, H.R. **Evaluation of recycled projects for performance**. Proceedings Association of Asphalt Paving Technologists-AAPT, v.65, 1996.
- PERRY, R.H., CHILTON, C.H., KIRKPATRICK, S.D. Dados Físicos e químicos. **In. Manual de Engenharia Química**. 4ªed. Rio de Janeiro: McGraw-Hill, 1980, p. 6-47 .
- PETERSON, G.D.; DAVISON, R.R.; BURR, B.L.; GLOVER, C.J. e BULLIN, J.A. **Effect of composition on asphalt recycling agent performance**. Transportation Research Record 1436, TRB. National Research Council, Washington, D.C., 1994.
- SALLES, W. F. L. **Sistemas microemulsionados para solubilização de depósitos parafínicos**. Set. 2000. 97p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) Orientadora: DANTAS, T. N. C. Departamento de Engenharia Química / DEQ – CT. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2000.
- SILVA, K. S. T. **Novos sistemas microemulsionados para formação de organogel e sua aplicação na imobilização de enzimas**. 2000. Dissertação (Mestrado) – Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Química, Programa de Pós Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal.
- SOLAIMANIAN, M. e TAHMORESSI M. **Variability analysis of hot-mix asphalt concrete containing high percentage of reclaimed asphalt pavement**. Transportation Research Record 1543, TRB. National Research Council, Washington, D.C., 1995.
- WEEST, C. C.; HARWELL, J. H. **Surfactants and subsurface remediation**. Environmental Science and Technology. v. 26, p.2324-2330, 1992.

RECYCLING OF ASPHALT MATERIAL MILLED WITH THE USE OF SOLVENTS AND MICROEMULSIONS

The continuous growth of the cities, the advance of agriculture and industrialization had taken the governments to invest in the construction of roads to establish connection the cities and to improve the draining of the production. With the time these roads had been if consuming and in the majority of times the joined solution it was the successive pavement layers, however, the left unevenness enters the rolling bands and roadside contributed in the cause of accidents. When the highways are with the aged floors and the consuming is intense does not advance to pass a new asphalt layer. The solution used normally to correct these problems is the milling of the floor, technique that consists of pulling out layers of exactly using a milling machine. The great challenge is gives a reasonable destination to this material that for much time was considered one rejects of the civil construction. The wasted material is constituted of gravel, sand, filler and ACP (Asphalt Cement of Petroleum). Normally this material is discarded in off-sets of the embankment or in boot-outside determined for the fiscalization of the workmanship, however, the ambient agencies are intensifying the requirements how much to that if it says respect to the ambient impacts in civil workmanships and to its residues (CONAMA, Nº

Resolution. 307 of 05 of July of 2002). Two types of recycling for waste materials exist currently: in the first one, the material receives a new dosage from asphalt (ACP) and is applied immediately in the floor, and in as, the material is inserted in the process of manufacture of the HMA (Hot Mixture of Asphalt) as aggregate, in an adequate ratio. Our proposal of work is a new technique of recycling using solvent and microemulsions, where in carried through assays it very showed due to simplicity of the extraction and the great efficiency of the process promising. The solvents had been evaluated and classified how much to the efficiency of extraction and after that used in the microemulsion elaboration to make extraction. The solvents aromatical chains as Benzene, Xylene and Toluene form the best extractors, but solvents long chain as Diesel, LCO (Liquid Cycle Oil) and even though some vegetal oils had presented good efficiency. The process of recycling with solvent consists of extracting the ACP of bituminous mixture and, through distillation, to recoup the solvent to be reused. The characterization of ACP if makes necessary to analyze the physical and chemical characteristics of the resultant material and to collate with the product standard. In this new technique we will be able to have substantial an ambient and economic profit due to recovery of all the constituent of the asphalt mixture, preventing that new added mineral and asphalt products they are used in the preparation of a mixture.

Asphalt Recycling - 1, Solvents - 2, Microemulsion - 3 ...

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.