



**ANÁLISE COMPARATIVA DOS IMPACTOS AMBIENTAIS GERADOS NA UTILIZAÇÃO DE DOIS DIFERENTES
LIGANTES ASFÁLTICOS NO PROCESSO DE PAVIMENTAÇÃO DE ESTRADAS**

**COMPARATIVE ANALYSIS OF ENVIRONMENTAL IMPACTS GENERATED IN TWO DIFFERENT LIGANDS FOR USE
IN THE PROCESS OF ROADS ASPHALT PAVING**

Rafaela Costa Lima

Universidade Salvador, Brasil
rafaelacostal@gmail.com

Victor Menezes Vieira

Universidade Salvador, Brasil
victor.vieira@unifacs.br

Carlos Augusto Nunes Costa

Universidade Salvador, Brasil
carlosaugusto@brasquimica.com.br

Anderson Souza Viana

Universidade do Estado da Bahia, Brasil
andersonvianabiologia@gmail.com

RESUMO

O presente artigo objetiva a incluir a Emulsão Asfáltica para Imprimação (EAI) nos serviços de imprimação, destacando a importância estratégica da utilização deste produto para a redução dos índices de poluentes atmosféricos, bom comportamento mecânico e melhor custo-benefício. Para tanto, a introdução dedica-se a destacar a importância da infraestrutura rodoviária no Brasil, e os produtos que estão sendo utilizados nos serviços de imprimação para pavimentação atualmente. Em seguida, define e conceitua o serviço de imprimação asfáltica, e os ligantes asfálticos CM-30 e EAI, destacando o comportamento desses ligantes nos serviços de imprimação, caracterizando seus constituintes e sua aplicação. Na sequência, o texto passa a discorrer sobre o solvente constituinte deste ligante, querosene, realizando uma análise comparativa dos impactos ambientais decorrentes do seu uso nos ligantes asfálticos CM-30 e EAI. Por fim, nas considerações finais, aponta a viabilidade da substituição do CM-30 pela EAI, a necessidade de incentivarem a criação de novos produtos mais ecológicos, e a encorajar o desenvolvimento de estudos que comprovem a sua eficiência, para promover a adoção destes no país.

Palavras-chave: Pavimentação; Imprimação; Ligantes Asfálticos; Impactos ambientais.

ABSTRACT

The present article aims to include Asphalt Emulsion for Imprimação (AEP) in services of imprimação, highlighting the strategic importance of the use of this product for the reduction of the indices of atmospheric pollutants, good mechanical behavior and better cost-benefit ratio. For both, in the introduction, is dedicated to highlight the importance of road infrastructure in Brazil, and the products that are being used in the services of imprimação paving currently. Then, defines and conceptualizes the service of imprimação asphalt, and the binders asphalt MC30 and AEP, highlighting the behavior of these ligands in services of imprimação, characterizing its constituents and its application. As a result, the text discuss the solvent constituent of this ligand, kerosene, performing a comparative analysis of environmental impacts resulting from its use in asphalt binders MC30 and AEP. Finally, the final considerations, suggests the viability of replacing the MC30 by AEP, the need to encourage the creation of new products that are more environmentally friendly, and to encourage the development of studies to prove its efficiency, to promote the adoption of these in the country.

Keywords: Paving; Primer; Asphalt Binders; Environmental Impact.

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, a demanda pelo asfalto vem crescendo de forma acentuada nos últimos anos, principalmente pela criação de programas que promovem o desenvolvimento de obras no país, como o Programa de Aceleração do Crescimento – PAC, o qual direciona verbas para as grandes construções de infraestrutura, como aeroportos, portos e rodovias (DECONCIC, 2009). Decorrente desse aquecimento da economia do país na última década, as pessoas passaram a ter mais facilidade de acesso ao consumo, inclusive de automóveis. De acordo com o Departamento Intersindical de Estatística e Estudos Socioeconômicos – DIEESE (DIEESE, 2012), no período 2002 a 2011, a produção total de autoveículos montados passou de 1,63 milhão para 3,41 milhões de unidades, crescimento de 108,5%. Esse aumento significativo no número de veículos produzidos resulta em mais congestionamentos e depreciação das vias, o que acarreta maiores investimentos na construção de novos acessos e na manutenção dos antigos (GODOI, 2011).

Essa tendência para investir em infraestrutura, de um modo geral, é decorrente da necessidade de se oferecer maior conforto e qualidade de vida à população residente, assim como para os turistas, investidores etc. (DECONCIC, 2009). No Brasil além dos fatores citados anteriormente, temos a grande demanda do transporte rodoviário pelo setor industrial, segundo a Confederação Nacional do Transporte – CNT (2014), 61% de todas as cargas (matéria-prima, produtos nacionais e importados) que transitam no território nacional são transportadas por veículos que utilizam as rodovias. Esse índice é bem alto, quando comparamos com outros países como o EUA, onde o transporte de carga em rodovias corresponde à 25% do total. Quando analisamos o transporte de passageiros por rodovias esse número é bem maior atingindo a faixa de 96% de atendimento à demanda interna. Este cenário configura em uma grande demanda por aumento da pavimentação das estradas, considerando que nossa malha asfáltica está bem abaixo do ideal, até o primeiro semestre de 2014, apenas 11% das estradas Brasileiras eram pavimentadas (CNT, 2014).

Uma obra rodoviária é caracterizada por diversos transtornos, como pela interdição de vias para movimentação de maquinário pesado ou construção de novas ruas; desvios de rotas; prejuízo para o comércio local durante a atividade e também o aumento da poluição atmosférica causada pela poeira e por gases tóxicos emitidos pelos ligantes asfálticos utilizados (GODOI, 2011). Com o intuito de reduzir os impactos negativos ocasionados pelas atividades de pavimentação, como a emissão de gases gerados pelos ligantes asfálticos utilizados nas obras, materiais alternativos passaram a ser desenvolvidos e estudados para substituírem os convencionais, visando não apenas soluções menos poluentes, como também economicamente viáveis.

O Asfalto Diluído de Petróleo (ADP)¹, tipo Cura Média (CM)², é o ligante asfáltico mais utilizado no Brasil para as obras de pavimentação e o comumente empregado nos serviços de imprimação (COSTA, 2014). Esses são classificados nos tipos CM-30 e CM-70 e ambos utilizam o querosene como solvente, no entanto, o mais usual é o tipo CM-30 (BERNUCCI et al., 2010). Por essa razão, neste trabalho somente se abordará o emprego do ADP CM-30 nos serviços de imprimação.

De acordo com Costa (2014), a produção de ADPs no Brasil é legalmente restrita a Petrobras. Apesar de ser o

¹ Os asfaltos diluídos de petróleo (ADP) são produzidos pela adição de um diluente volátil, obtido do próprio petróleo (BERNUCCI et al., 2010).

² O termo cura refere-se à perda dos voláteis e depende da natureza do diluente utilizado. Denominam-se os tipos segundo a velocidade de evaporação do solvente que, neste caso, é o querosene (BERNUCCI et al., 2010).

ligante mais utilizado, essa empresa considera elevado o custo de fabricação do CM-30, devido ao solvente utilizado, querosene de aviação. Além disso, os impactos gerados pelo CM – 30, decorrentes das substâncias tóxicas que constituem esse ligante, as quais são prejudiciais à saúde dos colaboradores envolvidos nas obras, a vizinhança, e ao meio ambiente, alguns países, como Argentina e México, aboliram de suas especificações o emprego de asfalto diluído nos serviços de imprimação de bases e o substituíram pela Emulsão Asfáltica, de mesmo poder ligante do CM-30, porém menos prejudicial ao meio ambiente e à saúde das pessoas, pois, parte do solvente (querosene) nela contido é substituída por água. Diante disso, o mercado brasileiro recentemente iniciou uma busca por alternativas, conhecida como Emulsão Asfáltica para Imprimação (EAI), que está sendo empregada em obras nas regiões sudeste e sul do país.

Em 2014, o Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte (DNIT) (DNIT, 2014), por meio do Instituto de Pesquisas Rodoviárias (IPR), em revisão de suas normas de serviços, editou a atual Especificação de Serviço (ES) 144/2014/DNIT - Serviço de Imprimação e contemplou a “emulsão asfáltica de imprimação - EAI”, conforme características de especificação de material EM-265/2013, como um dos materiais de uso no serviço, o que proporcionará emprego em escala progressiva.

O objetivo deste trabalho é avaliar os impactos ambientais gerados na utilização dos ligantes asfálticos CM – 30 e EAI no processo de asfaltamento de ruas e estradas, a fim de diagnosticar o de menor impacto e a evolução da sua utilização no Brasil.

2 METODOLOGIA

Para atingir o objetivo do presente trabalho foi realizada uma pesquisa de levantamento bibliográfico no período entre junho e novembro de 2014. Para formar um banco de dados consistente, foi realizado um estudo descritivo e exploratório, de natureza bibliográfica. A seleção do material foi feita a partir de buscas nos acervos de bibliotecas, Portal Capes, através de revistas eletrônicas tais como: Scielo e periódicos, artigos, trabalhos acadêmicos (tese e dissertações) e por meio de entrevistas com pesquisadores.

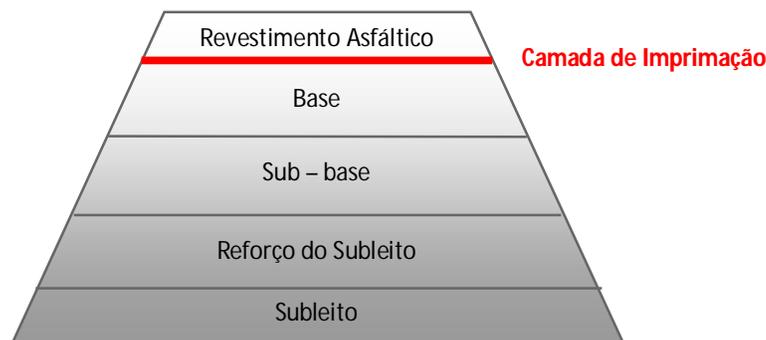
3 SERVIÇO DE IMPRIMAÇÃO

De acordo com o DNIT-144/2010-ES, o serviço de imprimação consiste na aplicação de camada de material asfáltico sobre a superfície da base concluída antes da execução de um revestimento asfáltico qualquer, com o objetivo de conferir coesão superficial, impermeabilização e permitir condições de aderência entre essa e o revestimento a ser executado.

A imprimação, de acordo com outros órgãos rodoviários normativos, é contemplada como serviço específico e imprescindível que deve ser executado nas etapas anteriores de construção de um pavimento asfáltico, ou seja, nas camadas de base, com o intuito de gerar coesão entre as partículas superficiais dessas camadas, impermeabilizar e promover a sua ligação com o revestimento asfáltico de superposição (IBP, 2012).

A Figura 1 apresenta a estrutura de que se compõe o pavimento asfáltico, dando ênfase à camada na qual ocorrem os serviços de imprimação.

Figura 1 - Seção tipo de pavimento



Fonte: adaptada Bernucci et al. (2010).

De acordo com a Norma DNIT 144/2010 - ES para os serviços de imprimação, no Brasil (DNIT, 2014), é prática usual utilizar os Asfaltos Diluídos de Petróleo (ADP) tipo Cura Média CM-30 e CM-70 e a escolha do ligante asfáltico adequado deve ser feita em função da textura do material da base. Atualmente se discute a utilização de outro ligante asfáltico para o processo de imprimação. De acordo com a Norma DNIT 144/2014-ES (DNIT, 2014), ainda em projeto de revisão, o ligante asfáltico empregado na imprimação pode ser o asfalto diluído CM-30, em conformidade com a norma DNER - EM 363/97, ou emulsão asfáltica do tipo EAI, em conformidade com a Norma DNIT 165/2013 - EM.

4 PROCEDIMENTO DE APLICAÇÃO

A aplicação do CM-30 ou da EAI na camada superior à base é basicamente a mesma, por ambas garantirem a penetração do ligante nos vazios, aumentarem a coesão e aderência ao revestimento e impermeabilizarem a base (DNIT, 2014). A taxa de aplicação dessas pinturas (CM-30 e EAI) variam de 0,8kg/m² a 1,5kg/m², a depender das características dos materiais de base (COSTA, 2014). De acordo com a DNIT 144/2014-ES, para se realizar o serviço de imprimação é necessário varrer previamente a superfície da base a ser imprimada com vassouras mecânicas rotativas e/ou manuais para, assim, remover as sujeiras e os materiais pulverulentos, com o intuito de facilitar o processo de penetração e não gerar apenas coesão superficial.

A pista pode ser levemente umedecida, para posteriormente aplicar-se o ligante asfáltico, em temperatura adequada, quantidade recomendada e de maneira uniforme. A temperatura de aplicação do ligante asfáltico deve ser fixada para o tipo de ligante, em função da relação temperatura versus viscosidade, para se escolher a temperatura que proporcione a melhor viscosidade para seu espalhamento (DNIT, 2014). Por esse motivo, os carros distribuidores de ligante asfáltico são providos de dispositivos de aquecimento e dispõem de tacômetro³, calibradores e termômetros com precisão de 1°C, instalados em locais de fácil observação (DNIT, 2014).

A aplicação do material betuminoso é realizada por um caminhão espargidor (Figura 2) previamente limpo e sem resíduos de outros produtos, o qual aplica o ligante asfáltico através de bicos espargidores instalados em uma barra transversal. É necessário regular e limpar os bicos antes do início de cada operação do caminhão porque a

³ Tacômetro é o instrumento usado para medir, em um corpo ou sistema, o número de rotações em um determinado tempo (COSTA, 2014).

regularidade da aplicação do ligante e a uniformidade desse são fundamentais para o desempenho do revestimento executado (BERNUCCI et al., 2010).

Figura 2 - Serviço de imprimação



Fonte: adaptada Brasquímica (2014)

O serviço deve ser realizado na largura total da pista em um mesmo turno de trabalho e deixar a base fechada ao tráfego por um período que varia de 24 a 72 horas, após o qual o desempenho do ligante asfáltico é analisado quanto a sua distribuição, alinhamento da aplicação e tempo de cura⁴ (DNIT, 2014). A construção do pavimento asfáltico é permitida quando o ligante residual presente na superfície da base gerando a impermeabilização não apresentar resistência aos movimentos dos equipamentos rodoviários (DNIT, 2014). É importante salientar que o tempo de exposição da base imprimada ao tráfego não deve ultrapassar 30 dias, e que este tipo de serviço não pode ser realizado quando a temperatura ambiente for inferior a 10°C, nem dias chuvosos (DNIT, 2014).

5 LIGANTES ASFÁLTICOS

Os ligantes asfálticos são produtos derivados do petróleo por processos industriais, utilizados na pavimentação. Este tópico abordará os ligantes asfálticos ADP CM-30 e EAI nos serviços de imprimação, assim como o querosene, solvente utilizado por ambos.

5.1 Asfalto diluído de petróleo CM-30

Os Asfaltos Diluídos de Petróleo (ADP), também conhecidos como asfaltos recortados ou *cut backs*, são produzidos a partir da diluição do Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP)⁵ por destilados de petróleo (BERNUCCI et al., 2010). Esses são utilizados para pavimentação em serviços por penetração e aplicados a temperatura ambiente ou com leve aquecimento a 50°C. As características dos asfaltos ADP tipo CM são regulamentados pela Agência Nacional de Petróleo - ANP sob Resolução n° 30 e Regulamento Técnico n° 02/2007.

De acordo com Costa (2014), o ADP tipo CM-30, utilizado especificamente no serviço de imprimação de bases, tem aproximadamente 40% de querosene e 60% de asfalto (CAP) em sua composição. O querosene contido

⁴ Tempo de cura é o processo de evaporação do diluente (querosene) separando-se do CAP (COSTA, 2014).

⁵ Cimento asfáltico de petróleo (CAP) é o asfalto obtido especialmente para apresentar as qualidades e consistências próprias para uso direto na construção de pavimentos (DNER- EM 204/95).

no ADP fluidifica o CAP e permite que o produto penetre na base e sirva como um veículo condutor. Após aplicação da pintura sobre a base, esse solvente sofre evaporação, emana para a atmosfera e o resíduo asfáltico aglutinante permanece nas partículas superficiais dos materiais das bases (COSTA, 2014). O período de evaporação do solvente delonga até 72 horas para promover o processo de cura da base imprimada (IBP, 2012).

Dentre outros fatores, o tempo mínimo de cura varia de acordo com o tipo e a taxa de ligante - os que possuem menor viscosidade tem maior poder de penetração; a umidade de compactação - quanto maior o teor de umidade de compactação, menor penetração; o tipo de solo - os solos mais arenosos possuem maior capacidade de absorção do CAP do que os argilosos (BERNUCCI et al., 2010).

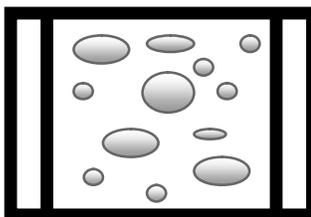
Caso esse tempo não seja respeitado, o solvente ainda se encontrará na superfície da base imprimada e poderá migrar para a camada asfáltica sobrejacente e dissolver seu ligante, o que pode acarretar o surgimento prematuro de deformações plásticas nos revestimentos asfálticos da superfície do pavimento (IBP, 2012).

5.2 Emulsão Asfáltica para Imprimação - EAI

Emulsão é a dispersão de pequenas partículas de determinado líquido em outro e essa pode ser formada por dois líquidos não miscíveis, em que geralmente a fase contínua é a água (ABEDA, 2003).

O querosene, por exemplo, não se dissolve ao se misturar com a água (Figura 3), mas, se os dois líquidos forem agitados, é perceptível que uma das fases acaba por se dispersar na outra e forme gotículas do solvente em suspensão, constituindo uma emulsão momentaneamente (COSTA, 2014).

Figura 3 - Querosene em água



Após algum tempo, ou imediatamente, por essa mistura não ser estável, as fases constituintes acabam por se separar. Para tornar o estado de emulsão estável, introduz-se na fase água produto químico com propriedade emulsionante, denominado emulsificante (BERNUCCI et al., 2010).

A Emulsão Asfáltica para Imprimação faz parte das especificações de emulsões asfálticas catiônicas para pavimentação, elaboradas pela Comissão de Asfalto do IBP e regulamentada pela Agência Nacional de Petróleo, Gás e Biocombustível (ANP), conforme Resolução nº 36, de 13 de novembro de 2012 e Regulamento técnico nº 6 de 2012. São aplicadas após a conclusão da base varrida, umedecida e seca, geralmente a temperatura ambiente ou levemente aquecida até 50° C.

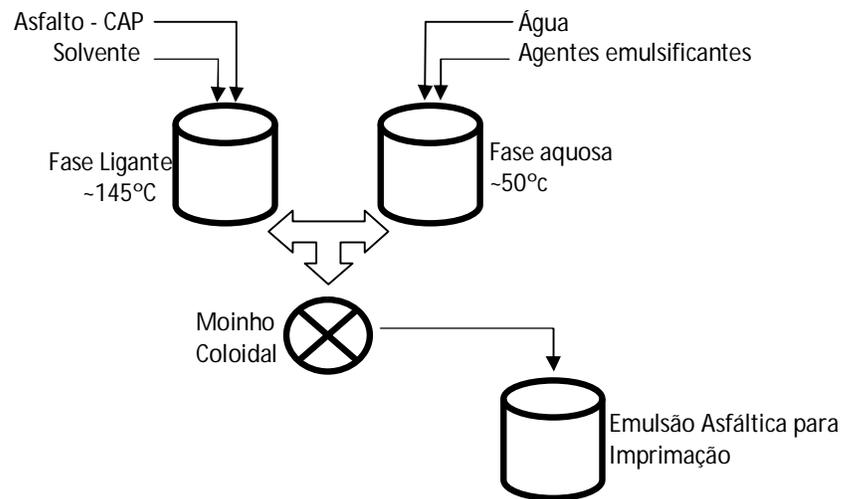
Ela é formulada à base de agentes tensoativos especiais e desenvolvida para substituir o asfalto diluído de petróleo CM-30, tradicionalmente utilizado no Brasil para serviços de imprimação (IBP, 2012). De acordo com Costa (2014), as EAI's são misturas de cimento asfáltico (45%), solvente tipo querosene (10%) dispersos na fase água (45%)

juntamente com agentes emulsificantes, para que a emulsão mantenha estabilidade ao bombeamento, transporte e armazenamento em temperatura ambiente. São produzidos, normalmente, em equipamentos de alta capacidade de cisalhamento, denominados moinhos coloidais (BERNUCCI et al., 2010).

No processo de emulsificação é necessário promover a quebra do CAP em partículas micrométricas e fazer com que fique disperso no meio aquoso. Para que isso ocorra, aplica-se energia térmica (cimento asfáltico aquecido a uma temperatura que varia de 140° a 145°C e fase água entre 50° a 60°C) e mecânica através do moinho coloidal, para se obter uma emulsão de asfalto em água bem homogênea (ABEDA, 2003).

É importante salientar que os agentes emulsificantes se encontram previamente dissolvidos na água, os quais têm como função evitar que as partículas de asfalto se aglomerem, o que mantém as duas fases (cimento asfáltico e água) em equilíbrio durante determinado período de tempo (ABEDA, 2003). A Figura 4 apresenta um esquema de produção de Emulsão Asfáltica para Imprimação.

Figura 4 - Esquema de produção de Emulsão Asfáltica para Imprimação.



Fonte: adaptada ABEDA (2003)

Durante a aplicação sobre a base concluída é necessário que a cura seja adequada e o ligante residual apresente capacidade adesiva e coesão superficial das partículas minerais da superfície da base. O tempo para ocorrer a separação da fase água da fase asfáltica, conhecido como ruptura da emulsão, é praticamente imediato do contato emulsão asfáltica/superfície da base (COSTA, 2014). Ao ocorrer à ruptura da emulsão, a fase asfáltica é liberada e será absorvida pela base.

No Brasil, as emulsões asfálticas utilizadas são predominantemente do tipo catiônicas, devido ao seu bom desempenho com a maioria dos agregados minerais (BERNUCCI et al., 2010).

5.3 Querosene

Os ligantes asfálticos CM-30 e EAI têm a sua utilização mais intensa em serviços de pavimentação e necessitam ser misturados a solventes para reduzir a viscosidade e melhorar a aplicabilidade (GODOI, 2011).

Utilizado como principal solvente nos serviços de imprimação, o querosene contém hidrocarbonetos C8-C17 nas proporções de 20% de compostos aromáticos e 80% de compostos alifáticos (PASTORELLO, 2008) (Tabela 1).

Tabela 1 - Composição química do querosene

Composição química	Teores (v/v)
Hidrocarbonetos alifáticos C8-C9	9%
Hidrocarbonetos alifáticos C10-C14	65%
Hidrocarbonetos alifáticos C15-C17	7%
Hidrocarbonetos aromáticos	18%

Fonte: adaptada Pastorello (2008).

O querosene, de acordo com a Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico (FISPQ), é classificado como líquido inflamável (categoria 3), corrosivo/irritante à pele (categoria 2), provoca danos/irritação ocular (categoria 2B), apresenta toxicidade para órgão-alvo após única exposição (categoria 3) e após única repetida (categoria 2), perigo por aspiração (categoria 2) e perigo agudo para o ambiente aquático (categoria 2) (Petrobras, 2014).

O querosene possui aspecto líquido claro e puro (isento de água e material em suspensão) e odor característico e desagradável, com ponto de ebulição inicial e faixa de temperatura de ebulição maior que 35°C e ponto de fulgor a 40°C (vaso fechado). Essa substância, além de tóxica, possui alta persistência e estabilidade, o que lhe confere a capacidade de causar danos ambientais mesmo em baixas concentrações, o que faz com que seus efeitos perdurem e alcancem longas distâncias. Além disso, o querosene tem potencial bioacumulativo, ou seja, tem a capacidade de se acumular, com elevadas concentrações, nos organismos vivos especialmente os aquáticos (Petrobras, 2014).

6 IMPACTOS AMBIENTAIS DO QUEROSENE NA IMPRIMAÇÃO ASFÁLTICA

De acordo com a NBR ISO 14.001:2004, que dispõe sobre os Sistemas da Gestão Ambiental, define-se aspecto ambiental como o elemento das atividades, produtos ou serviços de uma organização que pode interagir com o meio ambiente. O impacto ambiental, de acordo com a mesma norma, é definido como qualquer modificação do meio ambiente, adversa ou benéfica, a qual resulte, no todo ou em parte, das atividades, produtos ou serviços de uma organização.

Segundo Sánchez (2008), pode-se entender o aspecto ambiental como o mecanismo por meio do qual uma ação humana causa impacto ambiental, ou seja, as ações são as causas, os impactos são as consequências, enquanto os aspectos ambientais são os mecanismos ou os processos pelos quais ocorrem as consequências (Figura 5).

Figura 5 - Relação entre ações humanas e impactos ambientais

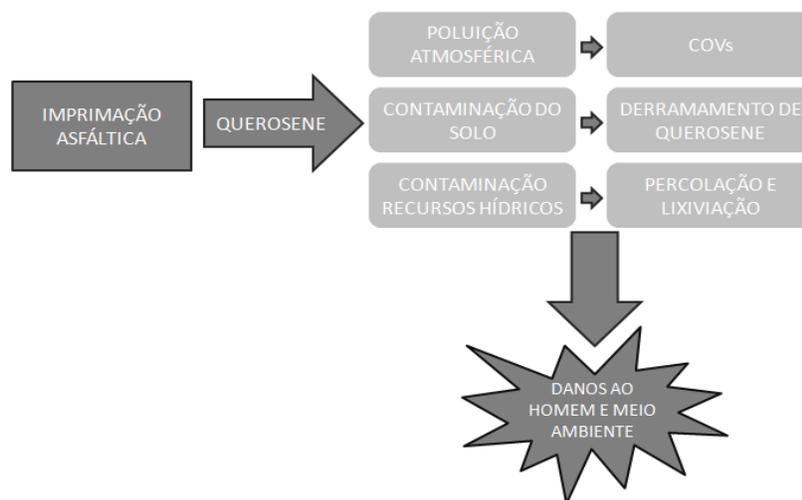


Fonte: Sánchez (2013).

É evidente que a atividade de pavimentação asfáltica gera diversos aspectos ambientais. No entanto, o presente trabalho abordará unicamente o aspecto ambiental associado à utilização do solvente querosene nos serviços de imprimação asfáltica com relação ao CM-30 e à EAI. Um aspecto importante é que as questões ambientais não se limitam a qualidade do ar ou da água, envolvem diretamente a segurança dos trabalhadores e, por sua vez, relacionam-se com os materiais perigosos utilizados nas obras de pavimentação (BARROS, 2015).

A Figura 6 apresenta alguns dos potenciais impactos ambientais decorrentes da utilização do querosene nos serviços de imprimação.

Figura 6 - Relação entre a ação humana (imprimação asfáltica) e os impactos ambientais

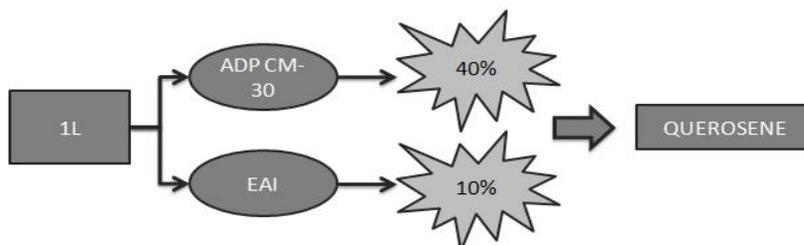


Fonte: adaptada Sánchez (2013)

O querosene adicionado aos cimentos asfálticos, quando derramado sobre o solo, pode em parte evaporar, em parte lixiviar e/ou percolar, contaminando o lençol freático. A velocidade de biodegradação varia de acordo com as condições climáticas, diluição e os micro-organismos presentes. A depender da quantidade de produto derramado, esse pode causar a infertilidade do solo, razão pela qual seu emprego deve ocorrer de forma controlada. Esse produto pode também acarretar a redução do nível de oxigênio dissolvido nos recursos hídricos, devido à possibilidade de formação de uma película na superfície da água, causando a mortandade dos organismos aquáticos (PETROBRAS, 2014).

É importante salientar que o querosene adicionado aos cimentos asfálticos de petróleo evapora depois da sua aplicação e caracteriza sua participação apenas como veículo para a penetração do asfalto nas bases compactadas. De acordo com Costa (2014), a cada 1 litro de Asfalto Diluído de Petróleo CM-30 utilizado, há perda evaporativa dos 40% de querosene, enquanto para a mesma quantidade de EAI utilizada são perdidos 10% de querosene somados aos 30% de água, o que acarreta a redução de cerca de 5% dos custos de utilização desse solvente (Figura 7).

Figura 7 – Percentual de evaporação do querosene nos ligantes asfálticos ADP CM-30 e EAI



Essa perda evaporativa, originada da aplicação do asfalto com o solvente (querosene), acarreta emissões gasosas nocivas ao meio ambiente e à saúde do trabalhador. Essa classe de poluentes atmosféricos é conhecida como compostos orgânicos voláteis (COVs).

Os compostos orgânicos voláteis (COVs), comumente denominados Volatile Organic Compounds (VOCs), em inglês, compõem a classe de substâncias na qual o carbono está combinado ao hidrogênio ou a outros elementos, como alcanos, alcenos, alcinos e aromáticos, constituindo ampla faixa de substâncias tóxicas (UEMOTO et al., 2006).

O Federal Highway Administration - FHWA (FHWA, 2005) menciona os COVs como principais poluentes e conclui que estão relacionados ao tipo de solvente ou diluente utilizado, à quantidade de petróleo destilado, e ao tempo de exposição como os principais fatores que influenciam o teor dos compostos emitidos (GODOI, 2011). Os COVs podem acentuar indiretamente a degradação do ozônio estratosférico, contribuir para o efeito estufa e para formar o ozônio troposférico. Quando o ozônio está presente na troposfera, ao nível do solo, torna-se prejudicial ao ser humano, pode causar câncer de pele, catarata, redução do sistema imunológico (EPA, 2001), além de modificar o equilíbrio ambiental de ecossistemas e alterar a bioquímica das plantas, por exemplo (UEMOTO et al., 2006).

A principal preocupação quanto à exposição da população a essas substâncias, está relacionada ao mal que podem causar à saúde. Uma das principais fontes de exposição são os solventes orgânicos, que têm potencial carcinogênico comprovado, face à sua ação no sistema nervoso central (SNC) (GODOI, 2011). O manual de limites de exposição para substâncias químicas e agentes físicos da American Conference of Governmental Industrial Hygienists (

Tabela 2), publicado no ano 2002, destaca as substâncias características dos COVs, o seu limite de exposição e efeitos nocivos (CAPULLI; NOVELLO, 2007).

Tabela 2- Caracterização dos COVs - Limite de exposição e efeitos nocivos

Substâncias	Limites de percepção pelo odor	Pressão de vapor (40°C) kgf/cm ²	TLV/TWA TLV/STEL	Efeito crítico
Aromáticos mistos	20 ppm	0,089	300 ppm 500 ppm	Irritação das mucosas e vias respiratórias
Gasolina	-	0,600	300 ppm 500 ppm	Irritação, SNC
Nafta petroquímica	-	-	300 ppm	Irritação, SNC
Querosene	1 ppm	-	14 ppm 14 ppm	Irritação, SNC, pele
Oleo diesel	-	-	100 mg/m ³	Irritação, pele
Xilenos (C ₈ H ₁₀)	20 ppm	0,077	100 ppm 150 ppm	Irritação
Tolueno (C ₇ H ₈)	-	0,043	50 ppm	SNC
Benzeno (C ₆ H ₆)	-	0,010	0,5 ppm 2,5 ppm	Cancerígeno
Tricloroetileno (C ₂ Cl ₃ H ₂)	-	0,46	50 ppm 100 ppm	SNC, dor de cabeça, fígado
Dissulfeto de carbono (CS ₂)	-	3,08	10 ppm	SCV, SN
Estireno (C ₆ H ₆ CH=CH ₂)	-	0,08	20 ppm 40 ppm	Neurotoxicidade, irritação, SNC

Nota: Limites de exposição segundo ACGIH - American Conference of Governmental Industrial Hygienists.

TLV/TWA (Threshold Limit Value –Time Weighted Average): valor de concentração ponderada para exposição por 8h/dia, 40h/semana sem efeitos nocivos;

TLV/STEL (Threshold Limit Value –Short Term Exposure Limit): valor de concentração que se pode expor o ser humano repetidamente por curtos intervalos de tempo (15 minutos), no máximo quatro vezes ao dia, sem danos crônicos, irritação ou narcose.

Fonte: Capulli e Novello (2007).

No Brasil, existem resoluções que dispõem sobre a qualidade do ar, a saber: Resoluções Conama nº 03, de 1990, nº 08, de 1990, e nº 436, de 2011, as quais tratam de algumas fontes específicas de emissão de poluentes atmosféricos e citam determinados tipos de atividades, como a combustão externa de bagaço da cana-de-açúcar, geração de energia elétrica por turbinas a gás, processo de fusão secundária de chumbo etc.

Além das emissões, é necessário explicar que os produtos de asfalto compostos por querosene, quando usados em imprimação, podem representar risco de incêndio, por envolverem aquecimento do material com temperaturas acima do seu ponto de fulgor. O fogo começa pelo spray, podendo se estender pelo asfalto acumulado no tanque reservatório e atingir o veículo, destruindo-o. Portanto, aconselha-se aos distribuidores de asfalto que mantenham seus equipamentos sempre limpos e livres de acúmulos de produto (FHWA, 2005).

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em vista dos resultados apresentados, entende-se que o ADP do Tipo Cura Média CM-30, apesar de ser o ligante asfáltico mais utilizado nos serviços de imprimação no Brasil, apresenta algumas características que passaram a dificultar seu emprego, ao se exigirem melhores condições de sanidade no ambiente de trabalho. Ao se considerar que a busca por produtos que apresentem o mínimo possível de impactos terem sido intensificados, assim como o rigor na fiscalização de suas operações e as punições aos agentes responsáveis, questiona a utilização do CM-30 diante da disponibilidade de produtos alternativos que atendam melhor ao conjunto de exigência do mercado.

Como o CM-30 tem restrição de utilização em alguns países, o presente trabalho está alinhado com a necessidade de se buscarem alternativas mais interessantes do ponto de vista ambiental, ampliar a discussão acerca

do uso dos ligantes asfálticos apresentados e discutir de forma mais aprofundada a viabilidade ambiental e econômica da substituição do CM-30 pela EAI.

Segundo a CNT (2014) para o Brasil chegar ao seu ideal se igualando a infraestrutura de países como o EUA, seria necessário um aumento de quase 20 vezes do total de estradas asfaltadas que possuímos. Isto confirma que a demanda interna de ampliação da pavimentação das estradas é um grande desafio, pois para alcançar tal objetivo será necessário muito investimento e aprimoramento dos materiais utilizados.

Segundo SENÇO (2010), o uso do CM-30 para imprimação pode não corresponder economicamente, em virtude das altas porcentagens de diluentes utilizados na sua fabricação, bem como ao seu alto preço de aquisição. Dessa forma, com a substituição do CM-30 pela EAI é possível reduzir os custos de utilização do solvente, o que acarretará a diminuição de gastos para execução dos serviços de imprimação, além de diminuir a emissão de COVs para atmosfera, fator preocupante e que deve ser seriamente avaliado, perante os impactos que esse pode causar ao meio ambiente e à saúde do trabalhador. Tendo em vista o elevado valor agregado do querosene e a sua taxa de evaporação na imprimação asfáltica, reduzir sua utilização em serviços desse tipo pode proporcionar aplicações mais nobres a esse solvente.

Apesar de existirem no Brasil resoluções que disponham sobre a qualidade do ar, como a Resolução Conama nº 05, de 1989, complementada pelas Resoluções nº 03, de 1990, nº 08, de 1990, e nº 436, de 2011, não há regulamentação específica para o controle das emissões dos COVs lançados durante a atividade de imprimação, a despeito de serem bem conhecidos os efeitos adversos desses compostos. Logo, sugere-se a revisão das resoluções para a incorporação dos limites de emissões para atividades desse tipo.

A avaliação revelou, que a EAI, por apresentar menor impacto ao meio ambiente e a saúde humana, e menor custo sem comprometer o resultado final no processo de pavimentação, é mais recomendada em substituição ao CM-30, entretanto, outros estudos devem ser realizados a fim de promover a utilização de tal produto.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO GÁS NATURAL E BIOCMBUSTÍVEIS. **Portaria nº43 de 20/09/1997:** Especificação brasileira dos asfaltos diluídos. Disponível em: <http://nxt.anp.gov.br/nxt/gateway.dll/leg/folder_portarias/portarias_dnc> Acesso em: 17 jul. 2014.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCMBUSTÍVEIS. **Resolução nº 19 de 11/07/2005:** Especificação brasileira dos Cimentos Asfálticos de Petróleo. Disponível em: <http://www.ufsm.br/engcivil/Material_Didatico/TRP1002_Mat_para_infraentrutura_de_transp/normas_e_material_complem/CAP_especificado.pdf> Acesso em: 13 jul. 2014.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCMBUSTÍVEIS. **Resolução nº 30, de 9.10.2007** - DOU 10.10.2007: Estabelece as especificações dos asfaltos diluídos de petróleo comercializados em todo o território nacional. Disponível em: <http://nxt.anp.gov.br/NXT/gateway.dll/leg/resolucoes_anp/2013/agosto/ranp%2030%20-%202013.xml> Acesso em: 19 jul. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DISTRIBUIDORAS DE ASFALTO. **Manual básico de emulsões asfálticas.** Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ISO 14.001:2004. **Sistema de gestão ambiental:** Requisitos com Orientações para Uso. Rio de Janeiro, 2004. 27p.

BARROS, A. M. T. C. **Análise Preliminar de Riscos na Atividade de Pavimentação Asfáltica.** São Paulo: Centro Universitário de Lins, 2015.

BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L. M. G.; CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. B. **Pavimentação asfáltica** – Formação básica para engenheiros, PETROBRAS, ABEDA, Rio de Janeiro, 2010.

BRASQUÍMICA PRODUTOS ASFÁLTICOS LTDA. **Imprimação Asfáltica**. Disponível em: <<http://www.brasquimica.com.br/downloads/>> Acesso em: 18 jul. 2014.

BRASQUÍMICA PRODUTOS ASFÁLTICOS LTDA. **Informativo Técnico**, n. 5, Emulsão Asfáltica de Imprimação (EAI) – IMPRIMER. Disponível em: <http://www.brasquimica.com.br/produtos/prg_pro.cfm?cod=22> Acesso em: 18 jul 2014.

BRASQUÍMICA PRODUTOS ASFÁLTICO LTDA. **Produtos**: CM-30. Disponível em: <http://www.brasquimica.com.br/produtos/prg_pro.cfm?cod=2> Acesso em: 15 set. 2014.

CAPULLI, D.; NOVELLO, V. Condensação bifásica de vapores orgânicos emitidos por operações de transferência em tanques de estocagem de combustíveis e solventes orgânicos. In RIO PIPELINE CONFERENCE & EXPOSITION, Rio de Janeiro: IBP - Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás Natural, **Anais...** 2007. p. 1-9.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. **O que o Brasil precisa em transporte e logística**. Agência Cnt de Notícias. Brasília. v. 01. n. 01. p.01-52. 17 set. 2014. Disponível em: <<http://www.cnt.org.br/Paginas/PropostaPresidenciais.aspx>>. Acesso em: 20 abr. 2015.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade das Águas e dos Sedimentos e Metodologias Analíticas e de Amostragem**. Apêndice A. Governo do Estado de São Paulo, Secretaria do Meio Ambiente, São Paulo, 2009.

COSTA, C. A. N. **Entrevista sobre Imprimação Asfáltica**. Brasquímica, Salvador, 2014. Entrevista concedida a Rafaela Costa Lima.

DEPARTAMENTO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. **Estudo da Cadeia Produtiva do Asfalto**: Diagnóstico de Problemas e Proposições de Aprimoramento. São Paulo: DECONCIC – Departamento da Indústria da Construção. p. 1 – 72. abr. 2009.

DEPARTAMENTO INTERSINDICAL DE ESTATÍSTICA E ESTUDOS SOCIOECONÔMICOS. **A Indústria Automobilística no Brasil** - Diagnóstico do Setor e Análise do Novo Regime Automotivo. São Paulo: SMABC - Sindicato dos Metalúrgicos do ABC, maio 2012. p. 1-47

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Especificação de Serviço n° 306/97**. Pavimentação - Especificação de serviço - Imprimação, Rio de Janeiro, 1997.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Especificação de Material n° 363/97**. Asfaltos Diluídos tipo Cura Média, Rio de Janeiro, 1997.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA E TRANSPORTE. **Procedimento n° 070/2006**. Condicionantes ambientais das áreas de uso de obras. DPP/IPR, Rio de Janeiro, 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA E TRANSPORTE. **Especificação de Serviço n° 144/2014**. Pavimentação Asfáltica - Imprimação com ligante asfáltico convencional - Especificação de serviço, Rio de Janeiro, 2014.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Emission Inventory Improvement Program**. Asphalt paving, chapter 17, 2001. (v. 3)

FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION. **Guidelines for using prime and tack coats**. Publication n° CFL/TD-05-002, Lakewood, 2005.

GODOI, Luciane de. **Estudo do Comportamento dos Ligantes Asfálticos Utilizados na Imprimação Asfáltica Relacionados à Emissão de Voc**s. 2011. 167 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais) - Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

GUIMARÃES, J. R. P. F. **Riscos para a Saúde de Trabalhadores de Pavimentação de Ruas**: As Emissões Tóxicas do Asfalto. Disponível em: <<http://www.interfacehs.sp.senac.br/index.php/ITF>> Acesso em: 17 jun 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE PETRÓLEO, GÁS E BIOCOMBUSTÍVEIS. Utilização de Emulsões Asfálticas Catiônicas nos Serviços de Imprimação. **Asfalto em revista**, Rio de Janeiro, n. 24, p. 18-21, 2012.

LOPES, J. L. Riscos para a saúde dos trabalhadores de pavimentação com asfalto. **Revista de Gestão Integrada em Saúde do Trabalho e Meio Ambiente**, São Paulo, v. 3, n. 3, p. 1-10, 2008.

PASTORELLO, N.A.H. **Avaliação dos riscos ocupacionais de compostos orgânicos voláteis em ambientes aeroportuários**: Implementação de metodologia. 2008. 83 f. Dissertação (Mestrado em tecnologia nuclear-materiais) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

PETROBRAS DISTRIBUIDORA S.A. **Emulsão para Imprimação EMULPEN**. Disponível em: <<http://www.br.com.br/wps/portal/portalconteudo/produtos/asfalticos/emulsaoasfaltica>> Acesso em: 18 jul. 2014.

PETROBRAS DISTRIBUIDORA S.A. **Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico - FISPO**: Produto QAV-1. Disponível em: <<http://www.br.com.br/wps/wcm/connect/0093880043a7ae538c958fecc2d0136c/fispq-avi-querosene-jeta1-antiestatica.pdf?MOD=AJPERES>> Acesso em: 18 jul. 2014.

SÁNCHEZ, L. E. **Avaliação de Impacto Ambiental**: Conceitos e Métodos. 2, ed. Oficina de Textos, São Paulo, 2013.

SENÇO, W. **Manual de técnicas de pavimentação**. 2. ed. São Paulo: Pini, 2010. (v. 1).

UEMOTO, Kai Loh, IKEMATSU, P. e AGOPYAN, V. Impactos ambientais das tintas imobiliárias. In: SATTler, Miguel A; PEREIRA, Fernando O. R (Ed.) **Coletanea Habitare**: Construção e meio ambiente. Porto Alegre: Associação Nacional de Tecnologia do ambiente Construído – ANTAC, 2006.