

Emissões do asfalto e seus efeitos na saúde humana

Guilherme Sandaka¹, Lilian Tais de Gouveia², Luciano José Senger³

¹Universidade Estadual de Ponta Grossa, Departamento de Engenharia Civil, sandaka-guilherme@hotmail.com

²Universidade Estadual de Ponta Grossa, Departamento de Engenharia Civil, ltgouveia@uepg.br

³Universidade Estadual de Ponta Grossa, Departamento de Engenharia Civil, ljsenger@uepg.br

Recebido:

8 de março de 2018

Aceito para publicação:

12 de junho de 2018

Publicado:

31 de agosto de 2018

Editor de área:

Francisco Thiago Aragão

Palavras-chaves:

Fumos de asfalto,
Vapores de asfalto,
Emissões,
Saúde.

Keywords:

Asphalt smoke,
Asphalt vapors,
Emissions,
Health.

DOI:10.14295/transportes.v26i2.1613

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo levantar os principais riscos para alunos, professores, técnicos de laboratório e demais trabalhadores do setor de pavimentação quando expostos às emissões de fumos e vapores do asfalto aquecido. Para tanto, foi feito um levantamento na literatura especializada e determinou-se através de pesquisas de diversos autores da área, os principais compostos dos fumos e vapores de asfalto que são lançados na atmosfera e, as possíveis doenças que são decorrentes da exposição humana a tais compostos. Os fumos e vapores de asfalto possuem em sua constituição química, hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs), os quais podem ser cancerígenos. Para se verificar a possibilidade de carcinogenicidade dos HPAs foi feito um apanhado das principais publicações na área de saúde ocupacional que tratam das emissões do asfalto. Foi realizado um levantamento sobre o histórico da evolução das pesquisas sobre o assunto. Dentre os vinte principais autores pesquisados acerca da carcinogenicidade dos fumos e vapores do asfalto, onze afirmam que as emissões do asfalto são cancerígenas para o ser humano quando há exposição em longo prazo, cinco autores afirmam que há grandes possibilidades do desenvolvimento de câncer e quatro autores afirmam não haver dano para a saúde humana. Não havendo plena certeza dos potenciais riscos oferecidos à saúde humana pelas emissões do asfalto, deve haver cautela com a exposição de trabalhadores e pesquisadores a tais componentes.

ABSTRACT

This paper aims to research the main risks to students, Professors, and other workers in the paving industry are exposed due to emissions of fumes and vapors from heated asphalt. For this, a survey was done in the literature and determined through research of various authors in the field, the main compounds that are emitted into the atmosphere in the fumes and asphalt fumes and the possible diseases that result from human exposure to such compounds. The asphalt fumes and vapors have in their chemical constitution, polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), which may be carcinogenic. To verify the possibility of carcinogenicity of PAHs was made an overview of the major publications in the occupational health area dealing with asphalt emissions. We conducted a survey of the history of evolution of research on the subject. Among the twenty authors surveyed about the carcinogenicity of fumes and asphalt fumes, eleven claim that emissions from asphalt are carcinogenic to humans when there is long-term exposure, five authors state that there are great possibilities of developing cancer and four authors claim no harm to human health. If there is no full assurance of the potential risks posed to human health by asphalt emissions, there must be caution with exposure of workers and researchers to such components.



1. INTRODUÇÃO

Estradas pavimentadas geram a movimentação da economia e trazem o desenvolvimento para as localidades que são atendidas por elas. Para a construção de uma estrada há que se pensar todo o traçado geométrico levando-se em conta a topografia do terreno e fatores de projeto. Um estudo deve ser desenvolvido a fim de se conhecer o tráfego esperado para aquela obra. Uma

vez determinados esses fatores parte-se para o projeto da mistura asfáltica, a qual, em casos de rodovias com alto volume de tráfego, pode ser utilizado concreto asfáltico.

O concreto asfáltico (CA) é o revestimento mais usado em estradas no território brasileiro. Para a sua produção utiliza-se o cimento asfáltico de petróleo (asfalto). O mesmo é aquecido até uma temperatura de projeto para envolver os agregados e promover um intertravamento e coesão entre as partículas, após compactação em campo. O asfalto quando aquecido libera fumos e vapores na atmosfera. Acredita-se que os componentes químicos liberados no aquecimento do asfalto podem ser nocivos à saúde dos trabalhadores que entram em contato direto com eles. Muitos estudos sobre a liberação de tais componentes e sua toxicidade vêm sendo desenvolvidos no exterior, principalmente nos Estados Unidos. No Brasil, as pesquisas sobre toxicidade do asfalto ainda são insipientes.

Trabalhadores da pavimentação, assim como, pesquisadores de empresas privadas e centros de pesquisa, alunos, professores e técnicos de universidades que trabalham com asfalto diariamente estão expostos a possíveis riscos à saúde pela inalação e contato com componentes tóxicos do asfalto. A falta de informação sobre o assunto faz com que tal ameaça se apresente invisível e passe despercebida, ou ainda, acarreta dúvidas sobre os possíveis danos que possam ser causados à saúde quando em contato com o asfalto.

Este trabalho tem por objetivo trazer à luz os principais riscos a que os trabalhadores da área de pavimentação estão expostos ao manter contato contínuo com as emissões de fumos e vapores do asfalto aquecido.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Materiais Betuminosos

Aproximadamente 95 % das estradas pavimentadas brasileiras são revestidas com materiais asfálticos (BERNUCCI *et al.*, 2008). Essa camada asfáltica é responsável por permitir o rolamento suave e seguro dos veículos e resistir a parte dos esforços do tráfego. O revestimento asfáltico é constituído basicamente de uma mistura de agregados (fragmentos de rochas) e ligantes asfálticos derivados do petróleo. Os ligantes asfálticos mais utilizados em pavimentação são asfalto, emulsão asfáltica e asfalto diluído. Esses ligantes podem ser utilizados em outras camadas do pavimento, além da camada de revestimento.

O asfalto é uma mistura de hidrocarbonetos (90 a 95 %) e de 5 a 10 % de heteroátomos (oxigênio, enxofre, nitrogênio e metais - vanádio, níquel, ferro, magnésio e cálcio) que provém da destilação do petróleo. A composição química do asfalto varia com o tipo de fracionamento ao qual ele é submetido (BERNUCCI *et al.*, 2008).

Quando o asfalto é misturado convenientemente com agregados de vários tamanhos, ambos aquecidos à temperatura de projeto obtém-se o concreto asfáltico. A temperatura do agregado é geralmente de 10 °C a 15 °C acima da temperatura do ligante. A temperatura média de trabalho do concreto asfáltico gira em torno dos 150 °C.

A emulsão asfáltica é uma mistura de asfalto, água e emulsificante. Essa emulsão é preparada com o asfalto em estado líquido aquecido e pulverizado em um moinho coloidal, com a adição de água e tensoativo (emulsificante). O teor de emulsificante dentro da emulsão pode variar de 0,2 a 2 %, enquanto a quantidade de asfalto pode estar entre 60 e 67 % da massa total da mistura. A utilização da emulsão asfáltica é feita a frio, trazendo assim uma série de vantagens para o processo de pavimentação. Pode ser utilizada com praticamente todos os tipos de agregados

(PETROBRÁS, 2015). No entanto, vários ensaios realizados em laboratório com a emulsão asfáltica necessitam aquecimento deste composto, gerando vapores e fumos de asfalto que podem ser inalados ou depositados na pele.

O asfalto diluído é composto por mistura de asfalto com diluente derivado do petróleo, tais como nafta (gasolina pura), querosene e óleo diesel. O asfalto é liquefeito por adição do diluente, podendo ser utilizado em temperatura ambiente ou levemente aquecido (BALBO, 2007). Esse material também é utilizado aquecido a altas temperaturas para realização de ensaios laboratoriais, portanto, vapores e fumos de asfalto que potencialmente podem causar danos à saúde são dissipados no ambiente.

2.2. Emissões do Asfalto

Quando os asfaltos são aquecidos durante o processo de pavimentação e demais aplicações, componentes voláteis são liberados na atmosfera. Esses componentes são denominados vapores de asfalto. Os vapores liberados quando o asfalto é aquecido apresentam material particulado em sua composição (NIOSH, 2000). À medida que os vapores de asfalto resfriam eles condensam formando pequenas gotículas, que são denominadas de fumos. Algumas dessas gotículas têm diâmetro efetivo menor que 12,5 micra e são inaláveis.

A composição química de fumos e vapores de asfalto depende de alguns fatores como a origem do petróleo do qual foi extraído o asfalto, tipo de asfalto, tempo de preparação e, também, da temperatura de usinagem da mistura (NIOSH, 2000).

A emissão de fumos de asfalto se torna visível à temperaturas em torno de 150 °C e a quantidade de fumos gerados pelo asfalto quando aquecido dobra a cada 12 °C de aumento de (SHELL, 2003). Os fumos são compostos basicamente de hidrocarbonetos e também apresentam gás sulfídrico (H₂S) em sua composição química. A exposição humana ao sulfeto de hidrogênio pode levar uma pessoa à morte caso a sua concentração no ar seja superior a 500 ppm (SHELL, 2003).

Os vapores de asfalto podem liberar ainda hidrocarbonetos alifáticos de cadeia longa, como por exemplo, octanos, nonanos, decanos e alifáticos de cadeias mais longas. São encontrados também, em pequenas quantidades, tolueno, xileno, outros derivados do benzeno e aromáticos de peso molecular maior.

Lutes *et al.* (1994), desenvolveram um estudo de caracterização dos principais componentes presentes nos vapores e fumos de asfalto utilizados em pavimentação. Tal estudo gerou um relatório para a Organização Mundial da Saúde acerca dos riscos provenientes das emissões do asfalto. Os compostos que apresentaram concentração significativa nessa caracterização foram o benzeno, naftaleno, pireno, benzopireno, chumbo e material particulado.

Nascimento *et al.* (2015a), estudaram a emissão de hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HPAs) de diferentes asfaltos comercializados no Brasil. Desenvolveram um equipamento que gera e coleta o gás de betume para avaliação das emissões (NASCIMENTO *et al.*, 2015b). Nos asfaltos analisados foram encontrados 14 tipos de HPAs com elevado potencial cancerígenos e mutagênicos. Além disso foi possível verificar a existência de diferenças entre as emissões de cada tipo de HPAs dependendo do tipo de asfalto e das temperaturas a que foram submetidos (POSSEBON *et al.*, 2018). Pinheiro *et al.* (2009) analisaram um CAP 50/70 extraído da fração maltênica do ligante HPAs tóxicos e outros considerados mutagênicos e carcinogênicos, além de HPAs diferentes dos padrões analíticos estudados.

2.3. Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos (HPAs)

Os HPAs são um grupo de compostos que possuem em sua composição química dois ou mais anéis de benzeno condensados e são constituintes dos fumos e vapores de asfalto. Podem ser encontrados tanto em fase gasosa, quanto adsorvidos em materiais particulados como a poeira, por exemplo. Tais substâncias apresentam um caráter lipofílico, isto é, são facilmente absorvidos quando entram em contato com tecidos gordurosos como a pele ou ainda quando são ingeridos ou inalados. Uma vez que tais componentes entram em contato com o corpo humano por uma dessas vias eles são rapidamente distribuídos para todo o organismo através do sistema circulatório (NETTO *et al.*, 2000).

Esses compostos podem contaminar a água destinada ao consumo através de contaminação de mananciais por fontes naturais e através da ação antrópica. Vazamentos de usinas de asfalto e contaminação durante o processo de pavimentação também podem contaminar fontes de água. Como tais compostos tendem a ser adsorvidos por materiais particulados, a filtração da água antes do consumo pode eliminar tais riscos (EPA, 2015).

Em temperatura ambiente os HPAs se apresentam na fase sólida. Geralmente as suas temperaturas de fusão e ebulição são elevadas e têm baixa solubilidade em água. Muitos HPAs podem ser transportados por longas distâncias através do ar e serem adsorvidos em materiais particulados, como é o caso dos HPAs com cinco ou mais anéis de benzeno, que são encontrados predominantemente no estado particulado (CARUSO; ALABURDA, 2008).

Tais compostos são emitidos por fontes naturais, como por exemplo, vulcões. Além disso, há um enorme risco de contaminação quando ocorre o derramamento acidental de óleo combustível derivado do petróleo, também através da queima de combustíveis, combustão incompleta de derivados de petróleo e também resíduos industriais (VO DIHN *et al.*, 1998).

A detecção ocasional de compostos aromáticos policíclicos em laboratório indica que, sob algumas condições, carcinogênicos conhecidos tem probabilidade de estar presente. Além do mais, fumos de asfalto gerados à altas temperaturas tem mais probabilidade de gerar hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HPAs) do que fumos gerados à baixas temperaturas (BURSTYN *et al.*, 2000).

2.4. Histórico das Pesquisas Sobre Fumos e Vapores de Asfalto

Em 1970, o *Occupational Safety and Health Act* enfatizou a necessidade de padrões para proteger a saúde e a segurança de trabalhadores expostos a um índice crescente de potenciais riscos em seu local de trabalho. Para atender a essas necessidades o governo americano criou o *National Institute for Occupational Safety and Health* (NIOSH), que é vinculado ao Departamento de Saúde dos Estados Unidos da América. O NIOSH trabalha em conjunto com a *Occupational Safety and Health Administration* (OSHA), que é parte componente do Ministério do Trabalho dos Unidos, para desenvolver leis que assegurem a segurança dos trabalhadores (CDC, 2015).

Com a fundação do NIOSH foi iniciado um sistema formal de pesquisas para prover dados relevantes sobre efeitos adversos à saúde dos trabalhadores expostos a agentes nocivos à saúde. Os valores recomendados de exposição, os quais são um resultado final deste trabalho, são baseados nos efeitos adversos à saúde de acordo com a exposição (NIOSH, 1977).

No ano de 1977, o NIOSH revisou os dados disponíveis sobre os efeitos da exposição ocupacional a asfaltos e fumos de asfaltos e determinou que os principais efeitos adversos são a iritação das membranas serosas e membranas mucosas do trato respiratório. Também assumiu o

fato de que existem evidências em estudos realizados em animais que indicam que o asfalto em contato com a pele por longos períodos de tempo poderia resultar em carcinomas locais. Entretanto, não existiam relatórios afirmando isso para o gênero humano. Com base nessas evidências, recomendou-se um limite de exposição para fumos de asfalto de 5 mg/m^3 de ar, medidos como o total de particulados durante qualquer série de quinze minutos. Em 1988, foi recomendado ao Departamento do Trabalho que os fumos de asfaltos fossem considerados potenciais carcinogênicos no ambiente ocupacional (NIOSH, 2000).

Em 1980 a NIOSH conduziu dois estudos em animais com contato epidérmico utilizando fumos de asfalto provenientes do processo de colocação de telhas derivadas de petróleo, em telhados norte americanos. Tais estudos comprovaram que os fumos de asfalto que formaram gotículas ao entrar em contato com a pele tiveram uma resposta carcinogênica positiva, entretanto não havia plena certeza se a exposição em campo apresentava o mesmo grau de toxicidade que as pesquisas desenvolvidas em laboratório. Em 1999, o *Asphalt Institute* (AI) desenvolveu novamente esse estudo e chegou à conclusão de que os fumos de asfalto gerados em laboratório são muito mais prejudiciais do que os gerados em obra (MCCARTHY *et al.*, 1999).

2.5. Panorama Brasileiro

Segundo o INCA - Instituto Nacional do Câncer (2012), no ano de 2012, foram estimados 518.510 novos casos de câncer no Brasil. O instituto estima que os cânceres decorrentes de exposição ocupacional correspondem a 4 % do número total de ocorrências da doença. Desse modo, aproximadamente 20.000 trabalhadores brasileiros foram diagnosticados com câncer decorrentes da exposição no ambiente de trabalho. Quando se trata de câncer de pulmão a estimativa é ainda pior: um em cada dez casos é decorrente de exposição às substâncias tóxicas no ambiente de trabalho.

O câncer ocupacional no Brasil é subestimado, pois há dificuldade em se estabelecer uma relação de causalidade exclusiva entre os agentes cancerígenos a que o trabalhador é exposto e o tumor. Dificilmente durante o tratamento é perguntado ao paciente a sua ocupação e maiores detalhes de seu ambiente de trabalho para averiguar possíveis exposições a agentes causadores de câncer no ambiente de trabalho e sua relação com o câncer. No ano de 2009, apenas 0,23 % do total de auxílios-doença concedidos pela Previdência Social estavam relacionados ao câncer ocupacional. Nesse ano foram concedidos 113.801 benefícios decorrente do afastamento por câncer e apenas 0,66 % desse total teve estrita relação com a ocupação do paciente (INCA, 2012).

A NR 15 do Ministério do Trabalho e Emprego (MTE), que regulamenta as atividades e operações insalubres, dispõe no anexo nº 13, a relação de atividades e operações envolvendo agentes químicos, que são consideradas insalubres. Na seção que trata dos hidrocarbonetos e outros compostos de carbono na subdivisão de insalubridade de grau máximo há a seguinte disposição: "Manipulação de alcatrão, breu, betume, antraceno, óleos minerais, óleo queimado, parafina ou outras substâncias cancerígenas afins." Desse modo, todos os trabalhadores que entram em contato direto com o asfalto estão em condições insalubres (MTE, 2011).

O anexo 13 da NR 15 coloca ainda operações em que o trabalhador esteja em contato com benzopireno como de insalubridade de grau máximo. Como os fumos e vapores de asfalto contém dentro de sua constituição química esse composto, todos os trabalhos com asfalto devem ser enquadrados na categoria de insalubres de grau máximo.

2.6. Efeitos Negativos na Saúde Humana

Segundo o *Health and Senior Services Department*, do estado Americano de Nova Jersey (2007), a exposição aos vapores e fumos de asfalto pode causar irritação dos olhos, irritação da mucosa nasal, irritação da garganta e irritação no pulmão, causando desse modo tosse e dificuldades para respirar. Caso os fumos e vapores de asfalto entrem em contato com a pele, podem causar irritação e severas queimaduras e podem ainda causar dermatite e pequenas feridas no corpo. Ainda a pessoa exposta pode vir a sentir dores de cabeça, tontura, náuseas e vômito.

Binet (2002), afirma que a exposição a fumos e vapores do asfalto causam efeitos danosos à saúde a curto prazo. Quando em contato com a pele, os fumos e vapores de asfalto apresentam uma absorção extremamente rápida, o que faz com que esses agentes químicos atinjam a corrente sanguínea muito rapidamente. O pulmão é o principal órgão no qual os fumos e vapores de asfalto agem causando efeitos danosos e até mesmo provocando o desenvolvimento de câncer.

Treissman *et al.* (2004) desenvolveram um estudo para o Departamento de Meio Ambiente de Alberta, no Canadá, para avaliar a exposição humana a benzopireno, e outros HPAs. O estudo concluiu que ingestão de benzopireno e demais HPAs com quatro ou mais anéis de benzeno por vias aéreas aumenta o risco de câncer de pulmão.

Clarck *et al.* (2011) conduziram um estudo com ratos em laboratório, os quais foram submetidos à fumos de asfalto provenientes de geração em laboratório e também em execução de obras de pavimentação. Observou-se que os animais que foram submetidos aos fumos gerados em laboratório apresentaram uma resposta positiva para câncer dermal, ao passo que, os animais submetidos aos fumos gerados em campo não apresentaram uma resposta carcinogênica positiva, desenvolvendo apenas queimaduras e irritações na pele.

Motta *et al.* (2012) afirmam que os HPAs com 3 anéis de benzeno ou menos podem não gerar câncer, entretanto, podem causar lesões e irritações aos trabalhadores. Não se pode dizer que apenas os HPAs sejam carcinogênicos, dentre os constituintes dos fumos e vapores de asfalto, pois há uma grande possibilidade de hidrocarbonetos alifáticos serem responsáveis pelo desenvolvimento da doença.

O processo de transformação dos HPAs de alto peso molecular dentro do organismo em potencial carcinógeno se dá através de seus constituintes que reagem diretamente com o DNA, ou ainda os HPAs podem sofrer transformações metabólicas dentro do corpo humano antes de reagir com o DNA (MOTTA *et al.*, 2012).

O Ministério da Saúde (2001) afirma que a exposição a longo prazo a HPAs tem sido associada com o câncer de bexiga em alguns grupos de risco. Ainda tais substâncias são potenciais causadoras de câncer de pulmão, além de câncer de pele em caso de contato prolongado através da região cutânea.

Para avaliar a carcinogenicidade de fumos e vapores de asfalto, no ano de 1989, Hansen (1989) desenvolveu uma pesquisa com 679 homens dinamarqueses que trabalhavam com asfalto. A pesquisa foi realizada entre os anos de 1959 a 1984, abrangendo assim um período economicamente ativo dos trabalhadores. Na pesquisa observou-se 75 novos casos de câncer desenvolvidos ao final do período de estudo.

Entretanto, a *Asphalt Roofing Industry Science and Medical Group* (ARISM) publicou um artigo em 1995, no qual coloca em dúvida o procedimento adotado por Hansen em sua pesquisa. O órgão afirma que o asfalto utilizado no estudo conduzido por Hansen era um mastique asfáltico

de baixo volume, o que faz com que sua composição seja diferente e menos perigosa que a dos materiais utilizados usualmente em pavimentação. Ainda a ARISM expressou que os dados utilizados nessa pesquisa não são adequados pois os ajustes estatísticos não levam em conta a separação de doenças causadas provavelmente pelo tabaco das doenças ocupacionais. Os hábitos de vida analisados por Hansen também são um fator que colocam o estudo em dúvida (ARISM, 1995).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para o levantamento dos principais componentes químicos dos fumos e vapores de asfalto, foi realizada uma busca de artigos científicos e informações confiáveis sobre o assunto em portais como o Google Acadêmico, Scielo, acervo literário da ASCE (*American Society of Civil Engineering*), *Science Direct*, *AsphaltInstitute* e o portal de periódicos da CAPES.

Após o levantamento desses componentes químicos iniciou-se um estudo sobre a carcinogenicidade dos fumos e vapores de asfalto. Além disso, buscou-se os principais efeitos dos fumos e vapores de asfalto na saúde humana. Vários são os pesquisadores, institutos de pesquisa e empresas que investigam tais compostos. Foi realizada uma busca de artigos acadêmicos nas fontes supracitadas, bem como no Ministério da Saúde do Brasil, Ministério do Trabalho e Emprego e ainda no Instituto Nacional do Câncer. Várias fontes de grande impacto internacional foram pesquisadas, tais como a Organização Mundial da Saúde (OMS), EPA, NIOSH e o IARC. Os autores foram organizados em grupos com opiniões similares, a fim de se identificar um padrão de resultados.

4. RESULTADOS E ANÁLISES DOS RESULTADOS

A Tabela 1 apresenta o resultado da pesquisa bibliográfica sobre o ponto de vista de diversos autores e institutos de pesquisa sobre a possível carcinogenicidade dos fumos e vapores provenientes do asfalto aquecido.

Do total de 30 autores pesquisados, 22 afirmam que a exposição à fumos e vapores de asfalto resulta no desenvolvimento de câncer nos seres humanos. Outros 5 autores não chegaram a uma plena certeza da carcinogenicidade dos fumos e vapores de asfalto e, 3 autores pesquisados afirmam que tais componentes não oferecem risco de desenvolvimento de câncer em humanos.

Tabela 1: Avaliação da carcinogenicidade dos fumos e vapores de asfalto

Autor	Meio de divulgação	Risco de câncer	Justificativa
BINET <i>et al.</i> (2002)	Revista <i>The Science of Total Environment</i> . Uma publicação do Institute National de Recherche et de Securite (França).	Sim	O pulmão é o principal órgão atingido. Estudos recentes indicam que os fumos de asfalto apresentam efeitos cancerígenos em humanos. Em estudo de fumos e vapores em contato com a pele, a <u>penetração dos componentes químicos foi extremamente rápida.</u>
NIOSH (2003)	Publicação informativa do CDC: Reducing Roofers' Exposure to Asphalt Fumes	Talvez	De acordo com alguns estudos, trabalhadores norte americanos que constroem telhados tem um risco crescente de adquirir câncer de pulmão. Não há plena certeza se o câncer é ocasionado pelos fumos e vapores de asfalto ou por outros meios, como por exemplo cigarro.
TREISSMAN, <i>et al.</i> (2004)	Alberta Environment (Levantamento feito para o Departamento de meio ambiente da província de Alberta no Canadá). Estudo laborado por WBK & Associates Inc.	Sim	A ingestão por vias aéreas de benzopireno e outros HPAs com quatro ou mais anéis aromáticos aumenta o risco de câncer de pulmão. Esse estudo foi focado no benzopireno, entretanto a inalação de benzopireno não acontece de modo isolado, pelo contrário, outros HPAs ocorrem juntos. Sendo assim todos os HPAs com quatro ou mais anéis podem ser considerados carcinogênicos.

Tabela 1: Avaliação da carcinogenicidade dos fumos e vapores de asfalto (continuação)

Autor	Meio de divulgação	Risco de câncer	Justificativa
MOTTA <i>et al.</i> (2012)	Revista da <i>Sociedade Brasileira de Química</i> . Uma publicação da Escola de Engenharia da USP.	Sim	São carcinogênicos os HPAs com 4 anéis de benzeno ou mais. Os com menos podem trazer lesões ou outras irritações, mas não chegam ao ponto de produzir câncer. Os autores dizem que o efeito carcinogênico dos fumos e vapores de asfalto não podem ser explicados apenas com base na composição de HPAs e sugerem que hidrocarbonetos alifáticos podem ser responsáveis em partes pelos efeitos cancerígenos dos fumos e vapores de asfalto.
BURSTYN <i>et al.</i> (2000)	<i>American Industrial Hygiene Association Journal</i> . O autor é afiliado à Drexel University.	Não	Os autores dizem que para o IARC, os estudos na indústria do asfalto, os dados levantados e publicados tem valor limitado para fazer um cálculo de risco de exposição. Os autores afirmam que os trabalhadores que ficam no campo podem ingerir outras matérias orgânicas de origem não betuminosa, o que pode causar confusão. Os autores afirmam, ainda, que para melhorar esse panorama, os dados de indústrias, medidas de vários estudos devem ser organizados em uma única base de dados para se poder chegar à conclusões mais acertadas.
<i>The American Petroleum Institute</i> (2009)	Asphalt Category Analysis and Hazard Characterization. Relatório elaborado por The American Petroleum Institute e submetido ao EPA. Entretanto não foi aprovado.	Não	Testes realizados por dois anos em ratos não resultaram em tumores. Com isso o autor afirma que os fumos e vapores de asfalto têm geralmente baixa toxicidade quando em contato com humanos.
MCCARTHY <i>et al.</i> (1999)	Revista <i>Transportation Research Record</i> . Uma publicação do Asphalt Institute (AI).	Talvez	Foi feito um estudo comparando-se os fumos gerados em laboratório e em campo. No laboratório a composição faz com que o fumo possa causar câncer. Ao passo que tais compostos não foram encontrados nos fumos coletados em campo.
<i>New Jersey Department Of Health And Senior Services</i> (2007)	Hazardous Substance Fact Sheet: Asphalt. Publicação do Departamento de Saúde do Estado Americano de NJ.	Não, entretanto deve-se haver cautela	Enquanto o asfalto não é considerado com carcinogênico em humanos, ele deve ser manipulado com cuidado, visto que foi provado que é cancerígeno em animais.
KRIECH <i>et al.</i> (2002)	Health and Environmental Documents do Asphalt Institute (http://www.asphaltinstitute.org/health-environmental-documents/). Publicação do AI.	Talvez	Neste artigo os autores fizeram os fumos em laboratório, os quais a NIOSH dizia que eram cancerígenos. De fato os fumos continham HPAs de alto peso molecular, o que segundo a NIOSH é a causa de câncer. Em nenhum momento o AI refutou a hipótese da NIOSH, apenas analisou o asfalto.
MA <i>et al.</i> (2003)	Environmental Health Perspectives. Publicação do NIOSH	Sim	Esse artigo fala que os trabalhadores de roofing estão mais expostos aos efeitos carcinogênicos de fumo de asfalto devido às temperaturas a que estes são formados. O estudo analisou a exposição de ratos aos fumos pela via respiratória e chegou à conclusão de que a curto prazo não foram notadas diferenças em pulmões e no sistema respiratório dos ratos. Entretanto a exposição aos fumos alterou significativamente o metabolismo xenobiótico das enzimas no pulmão. Tal alteração favorece a formação de metabólitos resultantes de HPAs que podem gerar efeitos carcinogênicos no pulmão.
KRIECH <i>et al.</i> (2002)	<i>American Industrial Hygiene Association Journal</i> .	Talvez	O autor não toma nenhum dos lados. Entretanto ele conduz um estudo de observação com 45 trabalhadores de pavimentação nos EUA. Eles retiraram amostras dos fumos de campo e para tal usaram técnicas de cromatografia a gás e fluorescência. Não foram encontrados HPAs nas amostras analisadas. Isso pode se dar devido à diferença de fumos gerados em laboratórios para os estudos e os fumos em campo.
IARC and OMS (2013)	Organização Mundial da Saúde Lyon França. Monografia do IARC nº 103 sobre avaliação de fumos de asfalto e seus riscos.	Talvez	O artigo diz que existem evidências inadequadas de câncer em humanos quando se trata de exposição ocupacional aos fumos de asfalto.
NETTO <i>et al.</i> (2000)	Revista <i>Química Nova</i> . São Paulo, Sociedade Brasileira de Química.	Sim	Vários componentes dos HPAs reagem diretamente, ou após sofrerem transformações metabólicas dentro do organismo, como o DNA, tornando-se assim potenciais carcinógenos.
MOTTA <i>et al.</i> (2012)	Revista da <i>Sociedade Brasileira de Química</i> . São Paulo, USP.	Sim	Baseada em pesquisas na literatura os autores assumem que os HPAs com 4 anéis de benzeno ou mais possuem propriedades cancerígenas.
Ministério da Saúde (2001)	Brasil. Publicação do Ministério da Saúde (Manual de procedimentos para serviços de saúde).	Sim	Exposição a HPAs decorrente de tabagismo ou do trabalho tem sido associado com câncer de bexiga em alguns grupos de risco (p123). E também câncer de pulmão (pg 112) e ainda câncer de pele.

Tabela 1: Avaliação da carcinogenicidade dos fumos e vapores de asfalto (continuação)

Autor	Meio de divulgação	Risco de câncer	Justificativa
HANSEN (1989)	Noruega. <i>Scandinavian Journal of Work, Environment and Health</i> (afiliado ao Institute of Community Health, University of Odense, Denmark)	Sim	O autor conduziu um estudo com 679 homens dinamarqueses durante 1959 a 1984. Observou-se 75 novos casos de câncer durante este período. O autor sugere que a exposição aos fumos e vapores de asfalto influenciaram tal fato.
SOBUS <i>et al.</i> (2009)	Ann. Occup. Hyg. (Publicação da Oxford University Press)	Sim	Baseado em diversos autores, o presente artigo afirma que os fumos e vapores de asfalto contém HPAs, os quais alguns são cancerígenos. No procedimento experimental foram investigados 20 trabalhadores de pavimentação com asfalto usinado à quente. O autor estudou a urina dos trabalhadores em diversas partes do dia e também após a aplicação de asfalto. Notou-se presença de HPAs na urina dos trabalhadores após a aplicação do asfalto, indicando assim a entrada de tais substâncias em seu corpo.
BOCZKAJ <i>et al.</i> (2014)	Revista <i>Chemosphere</i> Disponível na Plataforma Elsevier	Sim	Na investigação de um novo método para a caracterização dos compostos químicos presentes nos fumos e vapores de asfalto a altas temperaturas, o autor confirma a presença de compostos voláteis que são carcinogênicos. O autor destaca a presença do benzeno (conhecido carcinogênico). Além dos compostos aromáticos policíclicos também foram detectados sulfato de hidrogênio, disulfato de hidrogênio (agentes tóxicos ao sistema nervoso) e a piridina (um suposto carcinogênico).
AUTELITANO <i>et al.</i> (2017)	<i>Journal of Cleaner Production</i> . Disponível na plataforma Science Direct	Sim	Para estudar o efeito da adição de ceras orgânicas na redução da viscosidade do asfalto e, conseqüentemente a redução da sua temperatura de aplicação, foram feitos testes de cromatografia e espectrometria em amostras de asfaltos com a adição desses componentes. No estudo foram identificados mais de 200 compostos voláteis, entre eles a presença de carcinogênicos. A adição de ceras se mostrou como uma possível solução para a redução das emissões do asfalto.
ZANETTI <i>et al.</i> (2016)	Revista <i>Construction and Building Materials</i> . Disponível na plataforma Science Direct.	Sim	Os autores propuseram uma nova metodologia laboratorial para quantificar as emissões de asfalto com adição de borracha de pneus. Embora os autores afirmem que os resultados obtidos em laboratório foram mais conservativos que os de campo, os trabalhadores da pavimentação estão sujeitos à ação de compostos carcinogênicos e prejudiciais a várias áreas da saúde humana como compostos orgânicos voláteis e compostos aromáticos policíclicos.
GILGENAST <i>et al.</i> (2011)	Revista <i>Analytical and Bioanalytical Chemistry</i> . Disponível na Plataforma Springer	Sim	Nesse trabalho, o autor descreve a preparação de amostras de produtos derivados de petróleo para a determinação de HPAs. Baseados em outras pesquisas, os autores concordam com o potencial carcinogênico de tais compostos.
JANG <i>et al.</i> (2018)	Revista <i>Annals of Occupational and Environmental Medicine</i> . Disponível na plataforma Bio-med.	Sim	Os autores fazem um estudo da exposição de trabalhadores sul coreanos aos hidrocarbonetos aromáticos policíclicos. De acordo com os autores, na Coreia do Sul, câncer de pulmão e de pele estão enquadrados como doenças ocupacionais provenientes da exposição aos HPAs.
ABBAS <i>et al.</i> (2018)	Revista <i>Environmental Chemistry Letters</i> . Disponível na Plataforma Springer.	Sim	Os autores além de citar a carcinogenicidade dos compostos aromáticos policíclicos, afirmam que os subprodutos decorrentes desses compostos podem ser ainda mais prejudiciais à saúde humana, embora não haja estudos aprofundados sobre o assunto.
YiYi <i>et al.</i> (2018)	Revista <i>Environmental Health: A Global Access Science Source</i> . Disponível na Plataforma EBSCOhost.	Sim	Os autores afirmam, baseados na literatura, que os compostos derivados da emissão do asfalto quente podem ser cancerígenos. Os autores monitoraram a urina dos trabalhadores na segunda-feira de manhã e também na quinta-feira à tarde. Foram analisados 116 trabalhadores que utilizavam asfalto convencional e 51 de asfalto com adição de borracha. Os resultados obtidos pelos autores indicam presença de HPAs na urina dos trabalhadores, quando comparados a um grupo de controle de 100 pessoas.
ALEGBELEYE <i>et al.</i> (2017)	Revista <i>Environmental Management</i> . Disponível na Plataforma Springer	Sim	Os autores classificam os hidrocarbonetos aromáticos policíclicos, os quais estão presentes em fumos e vapores de asfalto, como cancerígenos e altamente prejudiciais à saúde humana e aos ecossistemas. No trabalho, também são propostas formas de biorremediação para áreas contaminadas.
RENGARAJAN <i>et al.</i> (2015)	Revista <i>Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine</i> . Disponível na Plataforma Science Direct.	Sim	Os autores comentam sobre as diversas fontes emissoras de hidrocarbonetos aromáticos policíclicos, como combustão de carvão, usinas termoelétricas e fontes antropogênicas. Os autores afirmam a carcinogenicidade de tais compostos que podem ser absorvidos pelo metabolismo humano por via oral, respiratória ou cutânea.

Tabela 1: Avaliação da carcinogenicidade dos fumos e vapores de asfalto (continuação)

Autor	Meio de divulgação	Risco de Câncer	Resultado
SHIYING <i>et al.</i> (2016)	Revista <i>Construction and Building Materials</i> . Disponível na Plataforma Science Direct.	Sim	Os autores afirmam, com base na literatura, que fumos e vapores do asfalto são carcinogênicos. Comparou-se a toxicidade de fumos e vapores de asfalto gerados em obras de pavimentação em Honk Kong com os fumos gerados em laboratório. Segundo os autores, embora os resultados obtidos em laboratório sejam mais conservativos que os de campo, pode-se afirmar que as emissões do asfalto são um grande risco à saúde humana.
HOPF <i>et al.</i> (2018)	Revista <i>Toxicology Letters</i> . Disponível na plataforma Science Direct.	Sim	Os autores pesquisaram a influência da radiação ultravioleta na absorção de fumos e vapores de asfalto por via cutânea em trabalhadores da pavimentação. Os autores afirmam que os compostos derivados das emissões do asfalto quente são cancerígenos e encontraram uma relação direta entre a exposição à radiação ultravioleta e a absorção desses compostos pela pele humana.
NASCIMENTO <i>et al.</i> (2015b)	Revista <i>Journal Of Separation Science</i> . Disponível na Plataforma Scopus (Elsevier B.V)	Sim	Foi desenvolvido um método utilizando cromatografia e espectrometria de massa para a determinação de frações de HPAs. Foram encontrados 14 tipos de HPAs com elevado potencial cancerígeno e mutagênico.
POSSEBON <i>et al.</i> (2018)	Revista <i>Road Materials and Pavement Design</i>	Sim	Foi feito um estudo de emissão de HPAs em 12 tipos de betumes utilizados no Brasil. Os autores afirmam que os estudos sobre os HPAs são imprescindíveis para a saúde dos trabalhadores e que as agências de saúde ao redor do mundo estão constantemente atualizadas os valores limites de exposição humana a tais componentes. Os autores afirmam, baseados em pesquisas já existentes, que alguns HPAs emitidos por misturas asfálticas a quente podem ser carcinogênicos e prejudiciais à saúde.

De acordo com INCA (2012), pelo menos 19 tipos de tumores malignos, incluindo os de pulmão, pele, fígado, laringe, bexiga e leucemias podem estar relacionados à ocupação do paciente. No entanto, há dificuldades em se relacionar a causa do câncer com o ambiente profissional, pois raramente o médico pergunta ao paciente qual a ocupação dele. A falta dessa informação nos registros tem dificultado o reconhecimento da ocupação como fator de risco importante para o desenvolvimento do câncer (GRABOIS *et al.*, 2014).

As incertezas entre casualidade e câncer estão também diretamente relacionadas ao fato da doença ter vários outros possíveis fatores causadores, sendo difícil estabelecer qual fator foi mais influente para o desenvolvimento da doença. Por exemplo, conservantes como nitritos e nitratos, adicionados aos embutidos, quando chegam ao estômago transformam-se em nitrosaminas, substâncias cancerígenas responsáveis por alterações celulares que podem levar ao desenvolvimento de câncer. Os defumados, além destes compostos, contêm hidrocarbonetos policíclicos aromáticos e alcatrão, o mesmo encontrado na fumaça do cigarro, que tem ação carcinogênica conhecida (INCA, 2015).

O câncer é uma doença multifatorial, o que significa que diversos fatores concorrem e podem se sobrepor, favorecendo seu desenvolvimento (INCA, 2015). No entanto, os trabalhadores precisam de mais informações sobre os riscos no exercício de suas funções, porque as concentrações de substâncias cancerígenas, geralmente, são maiores nos ambientes de trabalho quando comparadas a outros locais (INCA, 2012).

5. CONCLUSÕES

No Brasil, as pesquisas sobre as emissões do asfalto aquecido e seus riscos para a saúde humana ainda são insipientes. Embora o Ministério do Trabalho e Emprego caracterize atividades que envolvam o trabalho com asfalto e derivados de petróleo como insalubres, trabalhadores dessas áreas são expostos diariamente a um risco invisível.

Dentre os trinta autores pesquisados, que desenvolveram estudos sobre a carcinogenicidade dos fumos e vapores do asfalto, vinte e dois afirmam que as emissões dos asfaltos são cancerígenas para o ser humano quando há exposição a longo prazo, cinco autores afirmam que há grandes possibilidades do desenvolvimento de câncer e três autores afirmam não haver dano para a saúde humana. O Instituto Nacional do Câncer alerta que não há níveis seguros de exposição a agentes cancerígenos, portanto é fundamental que sejam adotadas ações para impedir o adoecimento dos trabalhadores devido ao seu ambiente de trabalho (INCA, 2012). Considerando a gravidade dos males que os fumos e vapores de asfalto podem causar à saúde humana deve-se ter cautela com a exposição de trabalhadores e pesquisadores a tais componentes, sendo imperativa a adoção de medidas preventivas.

AGRADECIMENTOS

Os pesquisadores agradecem ao CNPQ pelo financiamento da pesquisa e à Universidade Estadual de Ponta Grossa pelo apoio à pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ABBAS I. et al. Polycyclic aromatic hydrocarbon derivatives in airborne particulate matter: sources, analysis and toxicity. *Environmental Chemistry Letters*, p. 1-37, 2018. DOI: 10.1007/s10311-017-0697-0
- ACGIH.- American Conference of Governmental Industrial Hygienists. Disponível em <www.acgih.org> Acesso em 30 set 2015.
- ALEGBELEYE, O. O. et al. Polycyclic aromatic hydrocarbons: a critical review of environmental occurrence and biorremediation. *Environmental Management*, v. 60, p. 758-783, 2017. DOI: 10.1007/s00267-017-0896-2
- ARISM. The Health Effects of Occupational Exposure to Asphalt Fumes: A Review of the Available Scientific Data and On-going Industry and Government Research. Rockville.[S.I.]: Periodics, 1995. Disponível em: <http://www.ladep.es/ficheros/documentos/healtheffects.pdf>. Acesso em: 21 abr. 2015, 15:15:00.
- ASHRAE. Disponível em <https://www.ashrae.org/home> Acesso em 30 set 2015.
- AUTELITANO, F., et al. Airborne emissions of asphalt/wax blends for war mix asphalt production. *Journal of Cleaner Production*, v. 164, p. 749-756, 2017. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.06.247
- BALBO, J. T.; Pavimentação asfáltica: materiais, projeto e restauração. São Paulo; Oficina de Textos, 2007.
- BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L. M.G.; CERATTI, J.A. P.; SOARES, J.B. Pavimentação Asfáltica: Formação Básica para Engenheiros. Rio de Janeiro: Petrobrás; Associação Brasileira de Empresas Distribuidoras de Asfalto, 2008.
- BINET, S.; PFOHL-LESZKOWICK, A.; BRANDT, H.; LAFONTAINE, M.; CASTEGNARO, M. Bitumen Fumes: review of work on the potential risk to workers and the present knowledge on its origin. *The Science of the Total Environment*, v. 300, p. 37-49, 2002. DOI: 10.1016/S0048-9697(02)00279-6
- BOCZKAJ, G., et al. Characteristics of volatile organic compounds emission profiles from hot road bitumens. *Chemosphere*, v. 107, p. 23-30, 2014. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2014.02.070
- BURSTYN, I.; KROMHOUT, H.; BOFFETTA P. A Literature Review of Levels and Determinants of Exposure to Potential Carcinogens and Others Agents in Road Construction Industry. *American Industrial Hygiene Association Journal*, Falls Church – VA. v. 61, n.5 p. 715-726, set. 2000. DOI: 10.1080/15298660008984582
- CARUSO, M. S. F.; ALABURDA, J. Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos - Benzo(a)pireno: uma revisão. *Revista do Instituto Adolfo Lutz*, vol.67, n.1, Abril, São Paulo, 2008.
- CDC: About NIOSH. Disponível em <http://www.cdc.gov/niosh/about.html>. Acesso em 22 abr 2015.
- CLARCK, C. R.; BURNETT, D. M.; PARKER, C. M.; ARP, E. W.; SWANSON, M. S.; MINSAVAGE, G. D.;
- KRIECH, A. J.; OSBORN, L.; FREEMAN, J.; BARTER, R.; NEWTON, P.; BEAZLEY, S.; STEWART, C. Asphalt Fume Dermal Carcinogenicity Evaluation of Asphalt (bitumen) Fume Condensates. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, v. 61, p. 9-16, 2011. DOI: 10.1016/j.yrtph.2011.04.003
- EPA. Technical Factsheet on: Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs). Fact Sheet, 2015.
- GILGENAST, E., et al. Sample preparation procedure for the determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in petroleum vacuum residue and bitumen. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, v. 401 (3), p. 1059-1069, 2011. DOI: 10.1007/s00216-011-5134-9.
- GRABOIS, M. F.; SOUZA, M. C. de; GUIMARÃES, R. M.; OTERO, U. B. Completude da Informação "Ocupação" nos Registros Hospitalares de Câncer do Brasil: Bases para a Vigilância do Câncer Relacionado ao Trabalho. *Revista Brasileira de Cancerologia*; 60(3): 207-214, 2014.
- GREENBERG, M. I.; HAMILTON, R. J.; PHILLIPS, S. D.; MCKLUSKEY, G. J. *Occupation Industrial and Environmental Toxicology*. Filadélfia: Mosby; 2003.
- HANSEN E.S., "Cancer incidence in an occupational cohort exposed to bitumen fumes", *Scand J Work Environ Health*, 1989, 15:101-105.
- HOPF N. B. et al. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) skin permeation rates change with simultaneous exposures to solar ultraviolet radiation (UV-S). *Toxicology Letters*, v. 287, p. 122-130, 2018. DOI: 10.1016/j.toxlet.2018.01.024

- IARC. Bitumens and Bitumen Emissions, and Some N- and S-Heterocyclic Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. [S.I.]: Monographs, 2013. Disponível em: <<http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol103/mono103-001.pdf>>. Acesso em: 21 abr. 2015, 15:15:00.
- INCA. As Profissões e o Câncer. Rede Câncer, Rio de Janeiro, n.17 p. 18-20, abr. 2012.
- INCA. Notícias – Estimativas de câncer 2016/2017. Rio de Janeiro, nov. 2015.
- IPCS. Concise International Chemical Assessment Document 59: Asphalt (Bitumen). Geneva; World Health Organization, 2004.
- JANG, T., et al. The standards for recognition of occupational cancers related with polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in Korea. *Annals of Occupational and Environmental Medicine*, v. 30, p. 13 ss, 2018. DOI: 10.1186/s40557-018-0224-1
- KRIECH, A. J.; KUREK, J. T.; WISSEL, H. L.; OSBORN, L. V.; BLACKBURN, G. R.; Evaluation of Worker Exposure to Asphalt Paving Fumes Using Traditional and Nontraditional Techniques. *American Industrial Hygiene Association Journal*, Falls Church – VA. v. 63, p. 628-635, 2002.
- KRIECH, A. J. et al. Asphalt Fume Dermal Carcinogenicity Evaluation of Asphalt (bitumen) Fume Condensates. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, v. 61, p. 9-16, 2011. DOI: 10.1016/j.yrtph.2011.04.003
- LUTES, C.C. et al. Evaluation of Emissions from Paving Asphalts. New York: US EPA/600/SR-94/135, November 1994
- MA, J. Y. C.; RENGASAMY, A.; FRAZER, D.; BARGER, M. W.; HUBBS, A. F.; BATTELLI, L.; TOMBLYN, S.; STONE, S.; CASTRANOVA, V. Inhalation Exposure of Rats to Asphalt Fumes Generated at Paving Temperatures Alters Pulmonary Xenobiotic Metabolism Pathways without Lung Injury. *Environmental Health Perspectives*. V.111. Número 9. p. 1215-1221 Jul 2003.
- MCCARTHY, B. M.; BLACKBURN, G. R.; KRIECH, A. J.; KUREK, J. L.; WISSEL, H. L.; OSBORN, L. V. Comparison of Field Versus Laboratory Generated Asphalt Fumes. *Transportation Research Record*. v. 1661, p. 54-59, 1999.
- MINISTÉRIO DA SAÚDE. Doenças Relacionadas ao Trabalho. Editora MS. Brasília - DF. 2001.
- MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. NR 15 – Atividades e Operações Insalubres. Brasília: Ministério do Trabalho e Emprego, 2011.
- MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. Portaria Nº 25 – 29 de dezembro de 1994.
- MINISTÉRIO dos Transportes: Transporte Rodoviário no Brasil. Disponível em: <<http://www2.transportes.gov.br/bit/02-rodo/rodo.html>>. Acesso em: 19 março 2015.
- MOTTA, R.; VASCONCELLOS, P.C.; BERNUCCI, L.; ÁVILA, S.G.; CORNETTI, T.; Comparison of the n-Alkanes and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons Concentrations in the Atmosphere during the Preparation of Warm and Hot Mixtures Asphalt for Pavements. *Sociedade Brasileira de Química*, São Paulo, v. 23, n.8 p. 1501-1505, jul. 2012. DOI: 10.1590/S0103-50532012005000011
- NASCIMENTO, P.C., GOBO, L.A., BOHRER, D., CARVALHO, L.M., CRAVO, M.C., LEITE, L.F.M.; Determination of oxygen and nitrogen derivatives of polycyclic aromatic hydrocarbons in fractions of asphalt mixtures using liquid chromatography coupled to mass spectrometry with atmospheric pressure chemical ionization. *J. Sep. Sci.* 38, 4055–4062, 2015a. DOI: 10.1002/jssc.201500893
- NASCIMENTO, P.C., GOBO, L.A., BOHRER, D., CARVALHO, L.M., CRAVO, M.C., LEITE, L.F.M. Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in fractions in asphalt mixtures using liquid chromatography coupled to mass spectrometry with atmospheric pressure chemical ionization. *J. Sep. Sci.* 38, 2238–2244, 2015b. DOI: 10.1002/jssc.201401231
- NETTO, A. P. D.; MOREIRA, J. C.; DIAS, A. E. X. O.; ARBILLA, G.; FERREIRA, L. F. V.; OLIVEIRA, A. S.; BAREK, J. Avaliação da Contaminação Humana por Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPAs) e seus Derivados Nitradados (NHPAs): Uma Revisão Metodológica. *Química Nova*, São Paulo, v. 23, n.6 p. 766-773, jun. 2000. DOI: 10.1590/S0100-40422000000600010.
- NEW JERSEY DEPARTMENT OF HEALTH AND SENIOR SERVICES. Hazardous Substance Fact Sheet: Asphalt. [S.I.]: Fact Sheet, 2007. Disponível em: <<http://nj.gov/health/eoh/rtkweb/documents/fs/3197.pdf>>. Acesso em: 22 abr. 2015, 15:00:00.
- NIOSH. Reducing Roofers' Exposure to Asphalt Fumes. (NIOSH), 2003.
- NIOSH. Hazard Review: Health Effects of Occupational Exposure to Asphalt. Cincinnati: National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), 2000.
- NIOSH. Criteria for a Recommended Standard: Occupational Exposure to Asphalt Fumes. Washington, D. C. [S.I.]: Periodics, 1977. v. 106. Disponível em: <<http://www.cdc.gov/niosh/pdfs/78-106a.pdf>>. Acesso em: 21 abr. 2015, 15:15:00.
- PINHEIRO, L.S.; FERNANDES, P. R. N.; CAVALCANTE, R. M.; NASCIMENTO, R. F.; SOARES, J. B. Soares; SOARES, S. A.; FREIRE, J. A. K. Polycyclic aromatic hydrocarbons from asphalt binder: extraction and characterization. *J. Braz. Chem. Soc.* vol.20 no.2 São Paulo, 2009.
- POSSEBON, E. P.; SPECHT, L. P.; PEREIRA, D. S.; FERRAZ, L. M. R.; NASCIMENTO, P. C.; ARAGÃO, F. T. S. PAHs emissions by 12 Brazilian bitumens: procedure and results. *Road Materials and Pavement Design*, 2018. DOI: 10.1080/14680629.2018.1447502
- RANDEM, B. G.; BURSTYN, I.; LANGARD, S.; SVANE, O.; JARVHOLM, B.; KAUPPINEN, T.; BERGDAHL, I. A.; JAHANSEN, C.; HANSEN, J.; PARTANEN, T.; KROMHOUT, H.; FERRO, G.; BOFFETA, P.; Cancer Incidence Of Nordic Asphalt Workers. *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health* v. 5, n.5 p. 350-355, 2004. DOI: 10.5271/sjweh.822
- RENGARAJAN T. et al. Exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons with special focus on cancer. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, v. 5, p. 182-189, 2015. DOI: 10.1016/S2221-1691(15)30003-4
- SENÇO, W. Manual de Técnicas de Pavimentação. 746 p. Volume I. Editora Pini Ltda. São Paulo, SP. 746p. 2008.
- SHIYING L. et al. Air pollutant emissions and acoustic performance of hot mix asphalts. *Construction and Building Materials*, v. 129, p. 1-10, 2016. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2016.11.013
- SHELL. The Shell Bitumen Handbook. Londres: Shell UK Oil Products Limited, 2003.

- SOBUS, J. R.; MCCLEAN, M. D.; HERRICK, R. F.; WAIDYANATHA, S.; ONYEMAUWA, F.; KUPPER, L. L.; RAPPAPORT, S. M.; Investigation os PAH Biomarkers in the Urine of Workers Exposed to Hot Asphalt. *Ann. Occup. Hyg.* n. 6, p. 551-560, 2009. DOI: 10.1093/annhyg/mep041
- THE AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. Asphalt Category Analysis and Hazard Characterization. jul. 2009.
- TREISSMAN, D.; VIDMAR, J.; GUIGARD, S.; KINDZIERSKI, W.; SCHULZ, J.; GUIGARD, E. Review of Approaches for Setting an Objective for Mixtures in Ambient Air Using PAHs: Benzo[a]pyrene. Alberta: Alberta Environment, 2004.
- VO DINH, T.; FETZER, J. & CAMPIGLIA, A. D. Monitoring and characterization of polyaromatic compounds in the environment. *Talanta*, 47:943-969. 1998.
- YIYI, X., et al. Occupational exposure to asphalt mixture during road paving is related to increased mitochondria DNA copy number: a cross-sectional study. *Environmental Health*, v. 17, p. 1-5, 2018. DOI: 10.1186/s12940-018-0375-0.
- ZANETTI M. C et al. Evaluation of potential gaseous emissions of asphalt rubber bituminous mixtures: Proposal of a new laboratory test procedure. *Construction and Building Materials*, v. 113, p. 870-879, 2016. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2016.03.101.