

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENERGIA E AMBIENTE**

MIGUEL MELO CARVALHÊDO NETO

**AVALIAÇÃO DA EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL A BENZENO, TOLUENO,
ETILBENZENO E XILENO (BTEX) EM SERVIÇOS DE PAVIMENTAÇÃO
ASFÁLTICA COM MISTURAS USINADAS A QUENTE**

São Luís
2018

MIGUEL MELO CARVALHÊDO NETO

**AVALIAÇÃO DA EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL A BENZENO, TOLUENO,
ETILBENZENO E XILENO (BTEX) EM SERVIÇOS DE PAVIMENTAÇÃO
ASFÁLTICA COM MISTURAS USINADAS A QUENTE**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Energia e Ambiente da Universidade Federal do Maranhão, para obtenção do grau de Mestre.

Orientadora: Prof.^a Dra. Teresa Cristina Rodrigues dos Santos Franco.

São Luís

2018

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Núcleo Integrado de Bibliotecas/UFMA

Carvalhêdo Neto, Miguel Melo.

AVALIAÇÃO DA EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL A BENZENO, TOLUENO, ETILBENZENO E XILENO BTEX EM SERVIÇOS DE PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA COM MISTURAS USINADAS A QUENTE / Miguel Melo Carvalhêdo Neto. – 2018.

110 f.

Orientador(a): Teresa Cristina Rodrigues dos Santos Franco.

Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Energia e Ambiente/ccet, Universidade Federal do Maranhão, São Luis, 2018.

1. BTEX. 2. Exposição ocupacional. 3. Pavimentação asfáltica. I. Rodrigues dos Santos Franco, Teresa Cristina. II. Título.

MIGUEL MELO CARVALHÊDO NETO

**AVALIAÇÃO DA EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL A BENZENO, TOLUENO,
ETILBENZENO E XILENO (BTEX) EM SERVIÇOS DE PAVIMENTAÇÃO
ASFÁLTICA COM MISTURAS USINADAS A QUENTE**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Energia e Ambiente da Universidade Federal do Maranhão, para obtenção do grau de Mestre.

Orientadora: Prof.^a Dra. Teresa Cristina Rodrigues dos Santos Franco.

Aprovada em / /

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Dra. Teresa Cristina Rodrigues dos Santos Franco

Doutora em Química Analítica
Universidade Federal do Maranhão

Prof. Dr. Adeilton Pereira Maciel

Doutor em Química
Universidade Federal do Maranhão

Prof. Dr. Valter Alves de Meneses

Doutor em Engenharia Mecânica
Instituto Federal do Maranhão

AGRADECIMENTOS

À Deus, por ter me dado condições de caminhar nessa jornada.

Aos meus pais, por serem o meu modelo, por muito terem construído e por se manterem sempre firmes.

Aos meus irmãos, por terem sempre acreditado, auxiliado e esclarecido.

À minha esposa, pela companhia e pelo incentivo constante em todas as decisões tomadas.

À minha orientadora, pelo intenso suporte prestado para o desenvolvimento e conclusão desta pesquisa.

A todos os amigos e demais familiares que contribuíram com o encerramento de mais uma etapa.

RESUMO

Profissionais que realizam a atividade de pavimentação asfáltica laboram em ambientes extremamente peculiares, expostos a diversos agentes insalubres, principalmente aqueles caracterizados como agentes químicos, como o benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno (BTEX). Observa-se a ausência de estudos nacionais específicos, com análises quantitativas, discutindo a exposição ocupacional de trabalhadores do segmento de pavimentação asfáltica às substâncias mencionadas. Esta pesquisa busca avaliar a exposição ocupacional a BTEX vivenciada pelos trabalhadores que atuam nos serviços de pavimentação asfáltica que envolvem a aplicação de misturas usinadas a quente. Para tanto, foram coletados dados através de amostradores passivos, modelo SKC 575-002, fixados nos equipamentos de proteção individual de cada trabalhador, próximo à zona respiratória, durante a jornada integral de trabalho (8 horas). Sobre os resultados obtidos a partir da análise química dos amostradores, pode-se afirmar que as concentrações existentes nos locais de trabalho estão abaixo dos limites de quantificação suportados pelo método e pelos equipamentos utilizados no laboratório, mas ainda assim pode-se constatar que os referidos resultados se encontram em patamares inferiores aos respectivos limites de exposição ocupacional. Desta forma, acredita-se que a maioria dos trabalhadores possa estar exposta diariamente às concentrações de BTEX possivelmente presentes nas frentes de trabalho analisadas sem sofrer efeitos adversos à saúde.

Palavras-chave: Pavimentação asfáltica. BTEX. Exposição ocupacional.

ABSTRACT

Professionals that work in asphalt paving activities are found in an extremely peculiar environment, exposed to unhealthy agents, like chemical substances, such as benzene, toluene, ethylbenzene and xylene (BTEX). There is an absence of specific national studies, with quantitative analysis, discussing the occupational exposure of the workers from the segment of asphalt paving to the mentioned substances. This research tries to evaluate the occupational exposure to BTEX experienced by the workers that actuate in the asphalt paving services that involves the application of hot-mix batches. For that, the data were taken using passive samplers, model SKC 575-002, fixed in the personal protective equipment of each worker, near the respiratory zone, during full working hours (8 hours). From the results obtained from the chemical analysis of the samplers, it can be stated that the existing concentrations in the workplaces are below the limits of quantification supported by the method and by the equipment used in the laboratory, but it can still be verified that the results obtained are at levels below the limits of occupational exposure. Thus, it is believed that the majority of workers can be exposed daily to the BTEX concentrations possibly present on the analyzed workplaces without suffering adverse health effects.

Keywords: Asphalt paving. BTEX. Occupational exposure.

LISTA DE FIGURAS

	p.
Figura 01 - Pavimento sem revestimento asfáltico (esq.), pavimento imprimado (centro) e pavimento com revestimento asfáltico (dir.)	22
Figura 02 - Serviço de tapa-buraco.....	23
Figura 03 - Serviço de recapeamento.....	24
Figura 04 - Usina móvel de asfalto e seus componentes.....	25
Figura 05 - Usina fixa de asfalto.....	25
Figura 06 - Caminhão basculante	26
Figura 07 - Vibroacabadora de asfalto.....	26
Figura 08 - Rolo compactador liso chapa-pneu.....	27
Figura 09 - Caminhão espargidor.....	27
Figura 10 - Realização de imprimação com caminhão espargidor.....	28
Figura 11 - Caminhão 3/4	28
Figura 12 - Caminhão basculante despejando AAUQ na vibroacabadora.....	29
Figura 13 - Rasteleiros, ajudante, operador da vibroacabadora e mesista em atividade.....	30
Figura 14 - Pictogramas da FISPQ CAP 50/70.....	32
Figura 15 - Pictogramas da FISPQ do CM-30.....	34
Figura 16 - Pictograma adicional da FISPQ do RR-1C.....	35
Figura 17 - Parte das cadeias de hidrocarbonetos componentes do asfalto.....	35
Figura 18 - Pictograma da FISPQ do xileno.....	36
Figura 19 - EPIs para pavimentação asfáltica.....	43
Figura 20 - Bomba de amostragem, calibrador, redutor de vazão e tubo de carvão ativado.....	57
Figura 21 - Amostrador Passivo SKC 575-002.....	58
Figura 22 - Amostrador Passivo 3M 3500 e 3520	58
Figura 23 - Bomba de amostragem manual e tubos colorimétricos.....	59
Figura 24 - Detector eletrônico de gases.....	60

Figura 25 -	Envelope para envio dos amostradores - vista anterior.....	71
Figura 26 -	Envelope para envio dos amostradores - vista posterior.....	71
Figura 27 -	Vista anterior com tampa, vista posterior, vista lateral e vista anterior sem tampa do amostrador SKC 575-002.....	71
Figura 28 -	Sequência de passos para utilização do amostrador passivo.....	73
Figura 29 -	Amostradores com identificação.....	75

LISTA DE TABELAS

	p.
Tabela 01 - Classificação de toxicidade segundo a WHO.....	37
Tabela 02 - Toxicidade aguda do CAP 50/70 - DL_{50}	37
Tabela 03 - Toxicidade aguda do ADP CM-30 - DL_{50}	38
Tabela 04 - Toxicidade aguda da EAP RR-1C - DL_{50}	38
Tabela 05 - Quadro comparativo de toxicidade aguda de BTEX - Parâmetro DL_{50}	38
Tabela 06 - Classificação da carcinogenicidade do BTEX segundo a WHO.....	39
Tabela 07 - Classificação de carcinogenicidade do BTEX segundo a ACGIH	40
Tabela 08 - Exemplos de limites de tolerância previstos na NR 15.....	46
Tabela 09 - Limite de tolerância utilizado como valor teto.....	49
Tabela 10 - Limites de Exposição Ocupacional (TLVs) para BTEX publicados pela ACGIH	50
Tabela 11 - Limites de Exposição Recomendados (RELs) para BTEX publicados pela NIOSH.....	51
Tabela 12 - Limites de Exposição Permissíveis (PELs) para BTEX publicados pela OSHA	51
Tabela 13 - Comparativo dos limites de exposição ocupacional para 40 horas e 44 horas semanais.....	53
Tabela 14 - Comparação da concentração de BTEX ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) no ar atmosférico de diferentes ambientes (B - Benzeno, T - Tolueno, E- Etilbenzeno, m+p-X - m e p-Xileno, o-X - orto- Xileno)	64
Tabela 15 - Concentrações de BTEX ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) obtidas durante o abastecimento de veículos (N - número de coletas, A - ponto na área de circulação do posto e D - em um ponto a 200m da circ.).....	64
Tabela 16 - Concentrações médias de BTEX ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) obtidas durante o abastecimento de tanques subterrâneos.....	65

Tabela 17 -	Concentrações de BTEX obtidas em três períodos de amostragem de quatro pontos de área com trânsito moderado e vegetação pouco densa.....	65
Tabela 18 -	Concentrações de BTEX obtidas em três períodos de amostragem de quatro pontos de área com trânsito intenso e vegetação pouco densa.....	65
Tabela 19 -	Concentrações médias obtidas em três localidades distintas	66
Tabela 20 -	Tabela comparativa de concentrações médias de BTEX em grandes centros urbanos.....	66
Tabela 21 -	Concentrações de BTEX ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) em centros urbanos.....	67
Tabela 22 -	Identificação dos dados dos amostradores.....	74
Tabela 23 -	Métodos NIOSH/OSHA para amostragem passiva de BTEX	76
Tabela 24 -	Concentrações de BTEX nos amostradores 1849, 4374, 0388, 0147, 0237	77
Tabela 25 -	Concentração do BTEX no amostrador 0002 (branco de campo)	77
Tabela 26 -	Volume das amostras por contaminante.....	79
Tabela 27 -	Detalhamento do cálculo da concentração de referência dos contaminantes	79
Tabela 28 -	Conversão de mg/m^3 para ppm.....	80
Tabela 29 -	Comparativo entre limites de exposição e limites de quantificação	80
Tabela 30 -	Comparativo de estudos nacionais com os limites de exposição	82

LISTA DE SIGLAS

AAUQ – Areia Asfáltica Usinada a Quente
ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACGIH - *American Conference of Governmental Industrial Hygienists*
ADP – Asfalto Diluído de Petróleo
AIHA - *American Industrial Hygiene Association*
AIOH – *Australian Institute of Occupational Hygienists*
BPF - Baixo Ponto de Fluidez
CAP - Cimento Asfáltico de Petróleo
CBUQ – Concreto Betuminoso Usinado a Quente
CG-DIC - Cromatografia Gasosa com Detector por Ionização de Chama
CLT - Consolidação das Leis do Trabalho
COV - Compostos Orgânicos Voláteis
EAP – Emulsão Asfáltica de Petróleo
FISPQ – Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos
FUNDACENTRO - Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho
GHE – Grupo Homogêneo de Exposição
GLP – Gás Liquefeito de Petróleo
HPA - Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos
IN – Instrução Normativa
LT – Limite de Tolerância
MPT - Média Ponderada no Tempo
MTE – Ministério do Trabalho e Emprego
NBR – Norma Brasileira
NHO – Norma de Higiene Ocupacional
NIOSH - *National Institute for Occupational Safety and Health*
NR – Norma Regulamentadora
OSHA – *Occupational Safety and Health Administration*
PMF – Pré-Misturado à Frio
PPRA – Programa de Prevenção de Riscos Ambientais
SNC - Sistema Nervoso Central
SSST – Secretaria de Segurança e Saúde no Trabalho

STEL - *Short Term Exposure Limit*

TLV – *Threshold Limit Values*

TWA - *Time Weighted Average*

VRT – Valor de Referência Tecnológico

SUMÁRIO

	p.
1 INTRODUÇÃO.....	14
1.1 Objetivo Geral.....	18
1.2 Objetivos Específicos.....	18
2 MASSA ASFÁLTICA - PRODUÇÃO E APLICAÇÃO.....	18
2.1 Insumos.....	18
2.2 Etapas dos Serviços Relacionados à Pavimentação Asfáltica...	22
2.3 Equipamentos.....	24
2.4 Profissionais Atuantes	28
3 TOXICIDADE DOS INSUMOS UTILIZADOS NOS SERVIÇOS DE PAVIMENTAÇÃO	31
3.1 Análise Geral dos Insumos.....	31
3.1.1 CAP 50/70	32
3.1.2 ADP CM 30.....	33
3.1.3 EAP RR-1C.....	34
3.2 Análise das FISPQs do BTEX.....	35
3.3 Análise Comparativa de Toxicidade.....	37
3.4 Classificação da Carcinogenicidade do BTEX.....	39
4 EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL.....	41
5 LIMITES PARA EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL.....	43
5.1 Normas Nacionais.....	43
5.2 Normas Internacionais.....	47
6 MÉTODOS PARA AVALIAÇÃO DA EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL	53
6.1 Coleta Contínua com Amostrador Ativo.....	56
6.2 Coleta Contínua com Amostrador Passivo.....	58
6.3 Coleta Instantânea com Tubos Reagentes.....	59
6.4 Coleta Instantânea com Instrumentação Eletrônica.....	60
6.5 Métodos Padronizados de Coleta e Análise Química Aplicáveis	61
7 ESTUDOS PRÉVIOS RELACIONADOS À AVALIAÇÃO DE BTEX	63
8 METODOLOGIA ADOTADA.....	68
9 RESULTADOS OBTIDOS E ANÁLISE DOS DADOS.....	77

10	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	82
	REFERÊNCIAS.....	85
	ANEXOS.....	91

1 INTRODUÇÃO

A construção de vias asfaltadas nas zonas urbanas e rurais está relacionada a necessidade da criação de rotas de circulação que sejam regulares, aderentes e resistentes. Tais características proporcionam melhores condições de tráfego, pois permitem o deslocamento com maiores velocidades, minimizam o custo de manutenção dos veículos e reduzem a ocorrência de acidentes. As vias pavimentadas se destacam por sua durabilidade, uma vez que oferecem maior resistência aos desgastes gerados pelo tráfego e pelas condições climáticas.

Sobre o conceito de pavimento, Balbo (2007) caracteriza a referida estrutura como elemento não perene, composto por camadas sobrepostas de diferentes materiais, que devem ser compactados de forma adequada para atender operacionalmente ao tráfego, de maneira durável e com o menor custo possível.

A aplicação do revestimento asfáltico se constitui como a etapa final do processo de pavimentação da via e atua no sentido de aprimorar as características de resistência do pavimento ao tráfego.

Para garantir a qualidade da camada asfáltica aplicada, torna-se necessária a associação de três fatores fundamentais, que são:

- 1) A utilização de massa asfáltica com traço adequado à demanda projetada para a via;
- 2) A utilização de equipamentos que garantam a temperatura e o grau de compactação estimados para o asfalto e;
- 3) A contratação de mão-de-obra que possua experiência na operação dos equipamentos utilizados e que compreenda a relação existente entre as diferentes etapas do processo de pavimentação.

Muito embora a atividade de pavimentação asfáltica seja um dos poucos segmentos da construção civil que emprega quantidade relativamente baixa de mão-de-obra, é preciso destacar que tais profissionais laboram em ambientes extremamente peculiares, expostos a diversos agentes insalubres, como ruído, calor, fumos asfálticos e vapores orgânicos. O ruído está associado à operação das máquinas pesadas. Já os fumos asfálticos e os vapores orgânicos são originados a partir da aplicação dos insumos utilizados no processo de pavimentação.

Os principais insumos envolvidos da pavimentação asfáltica são os chamados ligantes asfálticos, que possuem essa denominação por desempenharem função de aglomerante nas misturas asfálticas, viabilizando a sua aderência aos agregados.

Dentre os ligantes asfálticos, merecem destaque os Cimentos Asfálticos de Petróleo (CAPs), os Asfaltos Diluído de Petróleo (ADPs) e as Emulsões Asfálticas de Petróleo (EAPs). Em termos resumidos, Pinto & Pinto (2015) caracterizam os CAPs como um produto oriundo do processo de destilação do petróleo, que é aplicado na construção de pavimentos; os ADPs como diluições do CAP em um solvente derivado do petróleo, como querosene; e as EAPs como uma combinação de água com CAP aquecido na presença de agentes e de um emulsificante, como amina ou sulfato de sódio.

No que diz respeito às emissões produzidas durante a utilização dos ligantes nos serviços de pavimentação asfáltica, Lutes *et al.* (1994), através de análise realizada em laboratório em condições de temperatura semelhantes às aquelas encontradas nos locais de trabalho, destacam a presença de benzeno nos vapores provenientes de camada de asfalto. Os autores registram ainda, nessa mesma análise, a detecção de etilbenzeno, xileno e tolueno.

Guimarães (2003, *apud* LOPES, 2008) relata a presença de solventes aromáticos, como o benzeno, tolueno e xileno, e de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) nas emissões originadas da aplicação de massa asfáltica.

Fernandes *et al.* (2007) mencionam o risco de contaminação relacionado aos trabalhadores envolvidos no processo de usinagem e compactação de misturas asfálticas e identificam nas referidas atividades a ocorrência de emissões de compostos como benzeno, tolueno e HPAs.

Na análise dos impactos gerados na saúde do trabalhador decorrentes do contato com benzeno, D'Alascio *et al.* (2014) destacam que a exposição à substância está relacionada a alterações hematológicas, tais como leucopenia, linfocitopenia e trombocitopenia, as quais provocam distúrbios de coagulação no sangue e sujeitam o organismo a infecções. Os referidos autores associam ainda a exposição ao benzeno com a ocorrência de efeitos carcinogênicos no organismo, como casos de leucemia mielóide aguda e certos tipos de linfoma.

Olson (2014) associa a exposição ao tolueno e xileno com a depressão do sistema nervoso central (SNC), a irritação das mucosas do trato respiratório,

sensibilização cardíaca, sensação de tontura, náuseas e dores de cabeça. O autor destaca ainda que a exposição crônica pode provocar efeitos permanentes no SNC, ataxia, tremores, anormalidades cognitivas e neurocomportamentais, miopatia e casos de hepatite. Já em relação ao etilbenzeno, a exposição está associada a irritação dos olhos e vias aéreas e, em elevadas concentrações, causa a depressão do SNC.

Sob a ótica da avaliação da exposição ocupacional, deve-se destacar que, por mais que existam no ambiente de trabalho riscos gerados por agentes físicos como ruído e calor, são os agentes químicos que se enquadram como potencialmente mais danosos à saúde dos trabalhadores. A alta temperatura da massa aplicada aumenta a presença no ar de parte das substâncias que compõem os insumos utilizados na pavimentação asfáltica. Ao associar tal cenário com a capacidade de absorção dos agentes químicos por via oral, dérmica e parenteral, torna-se necessário um direcionamento de esforços no sentido de:

- 1) Identificar as principais substâncias presentes e suas fontes de emissão;
- 2) Compreender as diferenças de exposição entre os grupos de trabalho envolvidos na realização da atividade;
- 3) Avaliar quantitativamente as concentrações dos compostos no ar, utilizando critérios claros e padronizados para definição das amostras e métodos de coleta e análise;
- 4) Comparar os resultados obtidos entre si;
- 5) Verificar se os resultados estão adequados aos referenciais estabelecidos nas normas nacionais vigentes e nas publicações de instituições especializadas no assunto e;
- 6) Estabelecer medidas de proteção e controle dos riscos.

Desta forma a análise da exposição ocupacional foca-se em identificar se as concentrações de determinadas substâncias químicas presentes no ar, nos postos de trabalho, encontram-se em patamares que podem ocasionar impactos negativos à saúde daqueles profissionais que atuam no segmento analisado e, a partir dessa avaliação, estabelecer medidas de controle com base em indicadores de exposição, conhecidos como limites de exposição ocupacional.

É bastante observada a realização de pesquisas que envolvem a avaliação da presença de benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno (BTEX) no ambiente atmosférico dos centros urbanos, conforme verificado em Sousa (2002), Gheleri

(2003), Albuquerque (2007) e Santos (2015). Tal presença encontra-se normalmente associada a emissões de indústrias e de veículos automotores.

Em relação às pesquisas nacionais já realizadas envolvendo a avaliação de BTEX em ambientes de trabalho, observa-se a publicação de estudos focados na exposição dos frentistas em postos de combustíveis, conforme pode ser constatado em Piceli (2005) e Amaral *et al.* (2017).

A necessidade da realização deste trabalho originou-se da ausência de estudos nacionais específicos, com análises quantitativas, discutindo a exposição ocupacional de trabalhadores do segmento de pavimentação asfáltica a benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno originados da volatilização das substâncias componentes da massa aplicada.

Nesta pesquisa apresenta-se inicialmente a descrição dos insumos utilizados no processo de pavimentação asfáltica, sendo explanados os conceitos técnicos sobre a atividade e esclarecida a função de cada equipamento e profissional direta e indiretamente envolvidos. Posteriormente descreve-se comparativamente a toxicidade e o potencial carcinogênico dos compostos presentes nos insumos utilizados. Elenca-se as normas técnicas, nacionais e internacionais, que estabelecem os limites de exposição ao BTEX, os métodos de amostragem e de análise laboratorial disponíveis, e descreve-se o procedimento de coleta em campo. Avalia-se de forma comparativa os resultados obtidos, primeiramente entre si e posteriormente confrontados com os referenciais contidos nas normas nacionais e internacionais aplicáveis e com os dados oriundos de outras pesquisas que avaliaram as mesmas substâncias.

É importante destacar que existem limitações em relação a quantidade de amostras e análises envolvendo o estudo. Portanto, objetivando reduzir o escopo da investigação, mas ainda assim estabelecer conclusões assertivas, o desenvolvimento desta pesquisa restringe-se à avaliação exposição ocupacional a BTEX a um grupo específico de trabalhadores nas frentes de trabalho dos serviços de pavimentação asfáltica, o qual pode ser considerado como representativo, em termos de exposição ocupacional, de toda a equipe diretamente envolvida.

1.1 Objetivo Geral

Esta pesquisa busca avaliar a exposição ocupacional a benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno de trabalhadores dos serviços de pavimentação asfáltica diretamente envolvidos na aplicação de misturas usinadas a quente.

1.2 Objetivos Específicos

Compreender a sistemática das atividades, a função dos trabalhadores, dos equipamentos e dos insumos envolvidos na realização da pavimentação asfáltica; identificar o grau de toxicidade dos insumos utilizados; definir o método de coleta e análise mais adequado para avaliação da exposição ocupacional, de acordo com a natureza do serviço e com as substâncias que se deseja analisar; definir o instrumento adequado para realização das coletas; estabelecer uma amostra representativa, que possa refletir a exposição de todos os trabalhadores; verificar os referenciais de exposição ocupacional aplicáveis às substâncias analisadas; identificar as concentrações de benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno (BTEX) presentes nos locais de trabalho; verificar, segundo as normas aplicáveis, se as concentrações observadas podem ocasionar prejuízos à saúde dos trabalhadores; e comparar os resultados obtidos, em termos de concentração, com outras pesquisas relacionadas à avaliação de BTEX.

2 MASSA ASFÁLTICA - PRODUÇÃO E APLICAÇÃO

2.1 Insumos

A camada mais externa que compõe o pavimento das vias de tráfego é o revestimento asfáltico. Segundo Bernucci *et al.* (2007), o asfalto é uma mistura de

hidrocarbonetos derivados do petróleo obtidos de forma natural ou por destilação, cujo principal componente é o betume (hidrocarbonetos não voláteis pesados), podendo conter ainda outros materiais, como óxidos de nitrogênio e enxofre, em menor proporção. Os referidos autores conceituam ainda o termo “betume” como uma mistura de hidrocarbonetos solúveis no bissulfeto de carbono (CS_2) e afirmam que o termo é normalmente utilizado como sinônimo de asfalto.

Grubba (2016) define os ligantes asfálticos como um tipo de aglomerante que é quimicamente inerte, visto que o seu endurecimento não é decorrente de uma reação química. De acordo com Bauer (2008) a utilização desses ligantes confere às misturas feitas com agregados minerais uma flexibilidade controlável, além de as tornarem altamente impermeáveis e resistentes a ataques de álcalis, ácidos e sais. Em termos gerais, os ligantes asfálticos são compostos derivados do asfalto através de processos industriais.

Conforme já mencionado, o CAP é um ligante obtido a partir do refino de petróleo, utilizado como matéria prima na usinagem de material a quente, na fabricação de emulsão asfáltica e na fabricação do ADP. Bernucci *et al.* (2007) destaca que o termo CAP é utilizado para referir-se ao asfalto semi-sólido em temperaturas baixas, viscoelástico à temperatura ambiente e líquido a altas temperaturas, formado por 90 a 95% de hidrocarbonetos e 5 a 10% de heteroátomos, como oxigênio, enxofre, nitrogênio e metais como vanádio, níquel, ferro e cálcio

Os ADPs são conceituados por Bernucci *et al.* (2007) como compostos produzidos pela adição ao CAP de um diluente volátil. O referido diluente também é obtido a partir da destilação do petróleo e atua na diminuição da viscosidade do composto de forma a permitir sua utilização a temperatura ambiente. Balbo (2007) destaca que em relação à volatilidade do solvente, os ADPs são classificados em cura rápida (rápida velocidade de evaporação), quando é utilizado de nafta ou gasolina como solvente e cura média (média velocidade de evaporação), quando é utilizado querosene.

Balbo (2007) define a Emulsão Asfáltica de Petróleo como compostos produzidos a partir do CAP, com a adição de água e agentes emulsificantes em pequenas proporções (0,2% a 1%), formando dispersões de uma fase sólida em outra fase líquida. A ABEDA (2010) destaca que o agente emulsificante atua no sentido de reduzir a tensão superficial da mistura, permitindo que os glóbulos de asfalto fiquem

em suspensão na água por algum tempo, evitando a aproximação e junção das partículas.

Os agregados são definidos pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) por meio da Norma Brasileira (NBR) 9935/2011 - Agregados - Terminologia, como materiais granulares, geralmente inertes, com dimensões e propriedades adequadas para produção de argamassa e de concreto (ABNT, 2011). De maneira mais simplificada, Bernucci *et al.* (2007) classificam agregado como um termo genérico para areias, pedregulhos e rochas minerais em seu estado natural ou britadas em seu estado processado.

As propriedades individuais de cada agregado são itens de observância obrigatória quando da sua escolha para composição do traço da mistura asfáltica. Tal análise deve ser realizada objetivando escolher o agregado que irá aderir mais facilmente ao CAP, proporcionando à mistura usinada maior capacidade de suporte as tensões que serão impostas ao asfalto aplicado.

O tipo da mistura asfáltica a ser utilizado depende da disponibilidade de material e equipamentos, e das especificações de projeto da via. As referidas misturas podem ser classificadas em misturas usinadas a quente e misturas usinadas a frio e são vinculadas a diferentes processos produtivos. O processo de usinagem a quente é mais complexo e oneroso. O referido formato de usinagem envolve elevados gastos com o fornecimento do combustível utilizado na alimentação da usina, com o objetivo de aquecer o CAP e o agregado para reduzir a viscosidade do ligante e também diminuir a presença de água na mistura. Em relação à aplicação da massa, as misturas a quente demandam a utilização de equipamentos específicos que não são exigidos nas misturas a frio, como o caso da vibroacabadora de asfalto. No entanto, ainda é observada a aplicação das misturas a quente com maior frequência. Tal escolha está associada a questão da durabilidade desejada para a via. As misturas a quente garantem, em função da redução significativa de água na massa produzida, uma maior adesividade do ligante aos agregados e uma maior durabilidade do revestimento asfáltico aplicado.

No aspecto da exposição ocupacional, é preciso destacar que o trabalho com as misturas a quente envolve a aplicação da massa em temperaturas elevadas que, segundo Castro (2015), devem estar entre 150°C a 190°C. Destaca-se que o acréscimo na temperatura proporciona maior grau de volatilização das substâncias potencialmente tóxicas que fazem parte da composição dos insumos utilizados. O

acréscimo da volatilização dessas substâncias implica no aumento da concentração das mesmas nas proximidades da zona respiratória dos trabalhadores envolvidos nas atividades de pavimentação asfáltica.

As misturas asfálticas usinadas a quente são resultado da junção de ligante asfáltico com agregados de variados tamanhos, submetidos ao aquecimento na usina de asfalto.

A Areia Asfáltica Usinada a Quente (AAUQ) e o Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) são tipos de misturas asfálticas que podem ser geradas por uma mesma usina de asfalto. Segundo Senço (2001), o CBUQ é o resultado da mistura a quente, em usina apropriada, de agregado graúdo (dimensões maiores que 2 mm, como britas, cascalhos e seixos), agregado miúdo (dimensões maiores que 0,075 mm e menores que 2 mm, como areia e pó de pedra), material de enchimento ou filler (material com ao menos 65% das partículas menores que 0,075mm, como cal hidratada), quando aplicável, e CAP, espalhado e comprimido a quente. Em relação à AAUQ, Bernucci *et al.* (2007), definem a referida mistura com resultado da usinagem de agregado miúdo (como areia), CAP e filler, se necessário. Observa-se então que a distinção entre as duas misturas reside basicamente no grupo de agregados selecionados.

Pessoa Junior (2014) destaca que o CBUQ, além de servir como uma camada revestimento, assume função estrutural e confere alta resistência ao pavimento. O referido autor recomenda a utilização do CBUQ para o revestimento de vias urbanas, pois exige menor cuidado com a conservação e apresenta maior vida útil. Em contrapartida, Bernucci *et. al* (2007) destacam que a AAUQ, em decorrência de sua composição mais simples, é normalmente empregada como revestimento em rodovias nas quais não ocorre tráfego muito elevado. Aldigueri & Bernucci (2002) afirmam que a AAUQ é considerada uma mistura usinada a quente de qualidade inferior ao CBUQ, uma vez que possui valores menores de resistência a tração e a deformação permanente, e apresenta desgaste maior em relação ao tráfego e às intempéries. Desta forma, a AAUQ é basicamente utilizada para impermeabilização do solo e para amortecimento do impacto de veículos, sendo recomendado o seu uso apenas em vias de baixo tráfego.

2.2. Etapas dos Serviços Relacionados à Pavimentação Asfáltica

A atividade de pavimentação asfáltica é composta por etapas sequenciais necessárias à manutenção da estrutura da via. Normalmente ocorrem variações na quantidade e na ordem dessas etapas de acordo com a situação em que se encontra o pavimento que será trabalhado. A abordagem adotada quando a via já possui revestimento asfáltico aplicado e necessita de reparos é bastante distinta daquela utilizada quando não existiu qualquer aplicação prévia de massa.

Antes da aplicação da mistura usinada, é necessária a realização do nivelamento e compactação do solo que receberá o pavimento asfáltico. Após nivelado e compactado, inicia-se o processo de impermeabilização. Segundo Pessoa Junior (2014), a imprimação é nome dado ao processo de aplicação do Asfalto Diluído de Petróleo sobre o solo para impermeabilizá-lo e assim assegurar a aderência do mesmo ao revestimento asfáltico que será utilizado. A imprimação é realizada quando há necessidade de construção de uma camada nova de massa asfáltica diretamente sobre o solo, sem sobreposição a um pavimento asfáltico já existente.

Após realizada a imprimação, inicia-se a aplicação da massa. A aplicação da mistura usinada envolve os processos de pré-compactação e nivelamento da massa sobre a superfície do pavimento. Posteriormente é realizada a compactação propriamente dita que, segundo Bernucci et al. (2007), tem o propósito de aumentar a estabilidade da mistura asfáltica e sua vida útil. As diferentes etapas do processo de pavimentação asfáltica constam destacadas na Figura 01.

Figura 01 - Pavimento sem revestimento asfáltico (esq.), pavimento imprimado (centro) e pavimento com revestimento asfáltico (dir.)



Fonte: Autor (2018)

Para os casos em que se pretende realizar apenas o reparo da via, uma vez que a mesma apresenta revestimento asfáltico já deteriorado, ou quando se deseja garantir a união de uma camada nova de asfalto ao solo já imprimado, surge a figura da pintura de ligação. Segundo Senço (2001), a pintura de ligação é o procedimento que envolve a utilização de Emulsão Asfáltica de Petróleo sobre uma camada já asfaltada ou imprimada, antes da aplicação de uma nova camada de mistura usinada, com o objetivo de garantir a aderência entre a camada antiga e a nova, evitando a reconstrução de todo o pavimento.

Em parte das contratações relacionadas à pavimentação asfáltica, é observada ainda a utilização frequente de termos mais populares para representar um grupo de atividades relacionadas à recuperação de pavimentos. Os termos mais usuais são o “tapa-buraco” e o recapeamento.

O serviço conhecido como “tapa-buraco”, destacado na Figura 02, constitui-se como um procedimento técnico utilizado para devolver a funcionalidade de um pavimento que está deteriorado e com tráfegabilidade reduzida. Tal serviço engloba as etapas de corte e demolição do pavimento asfáltico danificado, garantindo um espaço homogêneo para realização da pintura de ligação ou imprimação e, na sequência, a aplicação da massa asfáltica.

Figura 02 - Serviço de tapa-buraco



Fonte: Site da Prefeitura de Anápolis-GO. Disponível em <<http://www.anapolis.go.gov.br/portal/multimidia/noticias/ver/prefeitura-amplia-a-cobertura-na-cidade>>

Já o recapeamento, destacado na Figura 03, é uma medida de manutenção de pavimento asfáltico e constitui-se como um procedimento realizado em um pavimento já asfaltado que apresenta pequenas rachaduras, mas que ainda conserva parte de suas características funcionais de resistência e tráfegabilidade. Neste caso,

realiza-se somente o procedimento chamado de pintura de ligação para posterior aplicação de massa asfáltica.

Figura 03 - Serviço de recapeamento



Fonte: Site da Prefeitura de Maceió-AL. Disponível em <http://www.maceio.al.gov.br/2015/02/prefeitura-segue-com-obras-de-recapamento-em-maceio-2/>

2.3 Equipamentos

A preparação da massa asfáltica é realizada em usinas específicas, que são equipamentos nos quais o ligante asfáltico é misturado aos agregados. Existem usinas para preparação de misturas a quente, como AAUQ e CBUQ e usinas para preparação de misturas a frio, como o Pré-Misturado a Frio (PMF).

As usinas que trabalham na produção de AAUQ e CBUQ são normalmente compostas por silos de alimentação, secador rotativo, tanque de armazenamento de CAP, misturador e elevador, conforme apresentado nas Figura 04 e 05. Nos silos ocorre o armazenamento e o controle da dosagem dos agregados (como areia e pó de brita). No secador rotativo, o agregado é seco, de modo a facilitar sua aderência ao ligante asfáltico que será introduzido posteriormente ao processo. No final do secador, o CAP, oriundo de um tanque de armazenamento específico, é injetado no agregado. A junção CAP-agregado segue para o misturador, onde ocorrerá a homogeneização da mistura. A mistura homogeneizada segue para um elevador que a despejará em um caminhão basculante. Neste ponto, o material produzido deixa de ser agregado e CAP e se torna mistura usinada a quente.

Figura 04 - Usina móvel de asfalto e seus componentes



Fonte: Adaptado do site da Wirtgen Group. Disponível em:
<https://www.ciber.com.br/pt/produtos/usinas-de-asfalto/>

Figura 05 - Usina fixa de asfalto



Fonte: Autor (2018)

As usinas que trabalham com misturas a quente precisam de combustível específico para realizar o aquecimento do agregado, do ligante e da mistura. Um mesmo tipo de usina a quente, com a realização de algumas adequações, poderá utilizar como combustível os óleos de baixo ponto de fluidez (BPF), diesel ou Gás Liquefeito de Petróleo (GLP).

Em relação aos equipamentos móveis utilizados para realização dos serviços de pavimentação asfáltica, normalmente estão incluídos a vibroacabadora de asfalto, rolo compactador, caminhão espargidor, caminhão basculante e caminhão 3/4.

O caminhão basculante, em destaque na Figura 06, atua exclusivamente no transporte da mistura asfáltica usinada do seu local de produção ou fornecimento,

que é a usina de asfalto, para os pontos de aplicação. O equipamento possui caçamba articulada, que realiza o descarregamento da massa diretamente na vibroacabadora.

Figura 06 - Caminhão basculante



Fonte: Site da DEF Costa. Disponível em
<<http://www.defcosta.com.br/maquinas.asp?tipo=Transportes>>

A vibroacabadora ou pavimentadora de asfalto, representada na Figura 07, recebe inicialmente em seu silo, localizado na parte dianteira, a massa quente produzida pela usina e transportada por meio de caminhão basculante. A mesa vibratória, que é outra estrutura componente da vibroacabadora, realiza o nivelamento, a pré-compactação e a distribuição da massa ainda aquecida sobre o pavimento.

Figura 07 - Vibroacabadora de asfalto



Fonte: Autor (2018)

O rolo compactador liso, destacado na Figura 08, atua sobre a massa aplicada no pavimento através de seus tambores dianteiros e traseiros. Os referidos tambores associam o peso do equipamento com movimentos vibratórios por ele

gerados para diminuir os espaços vazios ainda existentes entre as partículas do material aplicado, de forma a garantir uma melhor compactação da massa asfáltica.

Figura 08 - Rolo compactador liso chapa-pneu



Fonte Autor (2018)

O caminhão espargidor, presente nas Figuras 09 e 10, é o equipamento composto por um tanque de armazenamento de ligante asfáltico, uma barra de distribuição de ligante com vários bicos e uma caneta aplicadora. O equipamento realiza a distribuição do ligante asfáltico no solo antes da aplicação da mistura asfáltica pela vibroacabadora. O ligante armazenado no interior do espargidor pode ser tanto um Asfalto Diluído de Petróleo, como uma Emulsão Asfáltica de Petróleo. A barra e a caneta permitem a aplicação do material armazenado no pavimento. A barra realiza a aplicação sem a intervenção direta de outro profissional. Já a caneta deve ser operada por trabalhador específico, que será responsável por, manualmente, direcioná-la aos pontos de aplicação. A referida aplicação serve para impermeabilizar o solo e garantir a aderência do mesmo à massa asfáltica.

Figura 09 - Caminhão espargidor



Fonte: Site da Romanelli. Disponível em: <http://www.romanelli.com.br/pt/equipamentos/espargidores-de-asfalto>

Figura 10 - Realização de imprimação com caminhão espargidor



Fonte: Autor (2018)

O caminhão 3/4, destacado na Figura 11, atua de forma indireta no processo de pavimentação asfáltica, exercendo a função de veículo de apoio. Considerando que as frentes de serviço são dinâmicas, torna-se necessário o transporte constante de equipamentos e ferramentas entre os distintos pontos de aplicação da mistura usinada. Tal remanejamento é feito por meio do referido veículo.

Figura 11 - Caminhão 3/4



Fonte: Site da DEF Costa. Disponível em:
<http://www.defcosta.com.br/maquinas.asp?tipo=Transportes>

2.4 Profissionais Atuantes

Os serviços de produção e aplicação da massa asfáltica envolvem oito classes distintas de profissionais que são o operador de usina de asfalto, o operador de vibroacabadora, o mesista da vibroacabadora, o operador de rolo compactador, o operador de caminhão espargidor, o encarregado de pavimentação asfáltica, o rasteleiro e o servente. A compreensão prévia dos detalhes relacionados ao tipo de

trabalho executado por cada profissional é essencial para que seja possível a verificação dos níveis de exposição ocupacional existentes nas frentes de trabalho.

Em relação às atividades executadas, o motorista de caminhão espargidor de asfalto atua unicamente durante a etapa de imprimação do solo, na condução do veículo no percurso programado, antes da aplicação da massa asfáltica.

O operador de usina de asfalto é responsável por garantir o funcionamento da usina, realizando a calibração do equipamento e a dosagem correta dos insumos, como areia, pó de brita e CAP, em conformidade com as especificações estabelecidas no traço definido para a massa, de maneira que a mistura asfáltica produzida apresente o desempenho conforme o projetado.

O motorista de caminhão basculante é responsável por levar a massa asfáltica produzida na usina até os pontos de aplicação, basculando progressivamente o material no interior da vibroacabadora, de acordo com o deslocamento da mesma na pista. Tal atividade consta ilustrada na Figura 12.

Figura 12 - Caminhão basculante despejando AAUQ na vibroacabadora



Fonte: Autor (2018)

O operador de vibroacabadora de asfalto é o profissional responsável por dirigir a vibroacabadora no percurso definido para a aplicação da massa.

O mesista da vibroacabadora de asfalto é o segundo profissional que trabalha no referido equipamento, operando a chamada mesa da vibroacabadora. Através dessa mesa é realizado o controle da altura de espalhamento do asfalto, o acionamento da pré-compactação, o controle de temperatura da massa e a medição da espessura do asfalto aplicado.

O rasteleiro é o profissional responsável por visualizar e uniformizar, seja por meio do espalhamento do material ou através da retirada dos excessos, qualquer deformação ou imperfeição que reste na distribuição da massa asfáltica na pista após sua aplicação pela vibroacabadora e antes da realização da compactação pelo rolo.

Os serventes atuam de forma complementar aos rasteleiros, quando há necessidade da realização de atividades que exijam a utilização de pás ou picaretas, principalmente para a demolição de pavimento asfáltico nos serviços conhecidos como “tapa-buraco” e também na movimentação do excesso de massa gerado durante o percurso da vibroacabadora.

Os serviços executados pelo rasteleiro, servente, operador e mesista da vibroacabadora estão destacados na Figura 13.

Figura 13 - Rasteleiros, ajudante, operador da vibroacabadora e mesista em atividade



Fonte: Autor (2018)

O encarregado de pavimentação asfáltica é o profissional que acompanha os serviços de pavimentação, avaliando o estado da massa aplicada, verificando a existência de imperfeições na camada asfáltica e coordenando as atividades das equipes envolvidas.

O motorista de caminhão 3/4 realiza somente o transporte de itens acessórios do processo de pavimentação.

Dentre as funções mencionadas, pode-se constatar *à priori* que, tanto o motorista de espargidor como motorista de caminhão 3/4 laboram em veículos cabinados e climatizados, o que reduz sua exposição aos agentes químicos a níveis

insignificantes. Fato semelhante ocorre com o operador da usina, que executa praticamente a integralidade de suas atividades em cabine climatizada. No entanto, observa-se que o rasteleiro, o ajudante, o operador e o mesista da vibroacabadora e o operador de rolo compactador trabalham diretamente na aplicação da mistura usinada a quente, de forma constante e sem qualquer barreira física de proteção em relação aos vapores emanados da massa aplicada além dos Equipamentos de Proteção Individual (EPIs).

3 TOXICIDADE DOS INSUMOS UTILIZADOS NOS SERVIÇOS DE PAVIMENTAÇÃO

3.1 Análise Geral dos Insumos

O decreto federal nº 2.657/1998 promulgou a 170ª Convenção da Organização Internacional do Trabalho a qual, por meio do seu artigo 8º, estabeleceu a obrigatoriedade da utilização, pelos empregadores que trabalham com produtos químicos perigosos, de fichas com dados de segurança dos referidos produtos, como identificação, nome do fornecedor, classificação do produto, periculosidade, medidas de precaução e procedimentos de emergência.

A partir dessa demanda, surgiu a figura da Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos (FISPQ) que foi padronizada pela NBR 14725-4/2014 - Produtos químicos - Informações sobre segurança, saúde e meio ambiente, elaborada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2014).

As FISPQs apresentam ainda, por força de norma, informações adicionais importantes sobre os produtos aos quais fazem referência, como natureza química, propriedades físico-químicas, cuidados necessários para o manuseio, formas de controle de exposição, medidas de primeiros socorros e informações toxicológicas. No campo de “Informações Toxicológicas” constam listados os possíveis danos à saúde que podem ser observados em trabalhadores que realizam o manuseio ou aplicação do produto químico, assim como o grau de toxicidade da substância e o seu potencial carcinogênico.

Analisou-se previamente as FISPQs de tipos específicos de Cimento Asfáltico de Petróleo, Asfalto Diluído de Petróleo e Emulsão Asfáltica de Petróleo, utilizados respectivamente nos serviços de usinagem de CBUQ ou AAUQ, imprimação e pintura de ligação. Na sequência, objetivando obter informações relacionadas à toxicidade das substâncias que seriam analisadas em laboratório, avaliou-se as FISPQs do benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno.

3.1.1 CAP 50/70

Um dos tipos de CAP comumente utilizado para produção de misturas usinadas a quente é o CAP 50/70.

A especificação numérica que faz parte do nome do produto está relacionada à consistência apresentada pelo CAP, medida em décímetros de milímetros, em ensaio de penetração definido pela NBR 6576/2007 - Materiais asfálticos - determinação da penetração. (ABNT, 2007).

Segundo descrito pela empresa Brasquímica (2014) na FISPQ do CAP 50/70, o produto pode causar irritação na pele com vermelhidão, ressecamento e coceira; caso haja contato com a substância aquecida, podem ser ocasionadas queimaduras. Na referida FISPQ consta ainda a informação de que o produto causa irritação e inflamação nos olhos com vermelhidão, lacrimejamento e prurido; que a exposição aos fumos gerados quando ele é aquecido pode causar narcose com tontura, sonolência, dor de cabeça, náusea e irritação no trato respiratório associada a tosse, dor de garganta e dificuldade respiratória. O documento destaca que os referidos fumos também estão associados ao surgimento de dermatite, melanoses, lesões semelhantes a acne, queratoses e danos aos pulmões quando o contato é realizado de forma repetida ou prolongada.

É preciso esclarecer que os perigos oferecidos pelo produto são sintetizados nas FISPQs por meio de elementos gráficos, chamados de pictogramas, conforme destacado na Figura 14.

Figura 14 - Pictogramas da FISPQ do CAP 50/70



Fonte: Brasquímica (2014)

O pictograma da esquerda é utilizado quando a substância apresenta uma ou mais das seguintes características: extremamente tóxico (nocivo); provoca sensibilização cutânea e irritação cutânea e ocular; irritante para as vias respiratórias; narcótico; provoca sonolência ou tonturas; ou perigoso para a camada de ozônio. Já o pictograma da direita está relacionado a um ou mais dos seguintes efeitos: é cancerígeno; afeta a fertilidade e o nascituro; provoca mutações; sensibilizante respiratório, podendo ocasionar alergias, asma ou dificuldades respiratórias quando inalados; tóxico para órgãos específicos; ou pode ser fatal por ingestão ou penetração nas vias respiratórias.

3.1.2 ADP CM-30

Segundo Pinto & Pinto (2015), o CM-30 é um tipo de Asfalto Diluído de Petróleo de cura média, uma vez que o processo de evaporação do solvente, chamado de “cura” apresenta velocidade média. O número que acompanha a especificação desse ADP está relacionado à faixa de viscosidade inicial admitida para o composto, que no caso do CM-30 é de 30 centistokes (cSt) em 60°C.

Segundo descrito pela empresa Brasquímica (2016) na FISPQ do CM-30, o produto pode ocasionar irritação ocular grave com vermelhidão, dor e lacrimejamento; em exposições pontuais, pode provocar irritação das vias aéreas superiores se inalado, associada à tosse, dor de garganta, falta de ar, odor semelhante ao de querosene na respiração e sensação de queimação no peito; pode provocar efeitos narcóticos com tonturas, dores de cabeça, confusão mental, zumbidos auditivos, fraqueza, alucinações e perda de consciência. A FISPQ analisada relata ainda que, nos casos de ingestão, o produto provoca náuseas, vômitos, engasgos, diarreia, lábios avermelhados, transpiração intensa e palidez. O referido documento menciona que a exposição repetida ou prolongada pode causar dano ao trato respiratório e sistema nervoso central, causando bronquite, tonturas, sonolência, dores de cabeça, náuseas, alucinações e perda de consciência; e destaca que o contato com os fumos provenientes do seu aquecimento pode provocar dermatites, lesões parecidas com acne e queratoses.

Em relação à FISPQ do CM-30, observa-se a presença de um pictograma adicional, destacado no símbolo mais à esquerda na Figura 15. O referido pictograma

está relacionado à uma ou mais das seguintes características: substâncias e misturas susceptíveis de auto-aquecimento, líquidos que podem incendiar-se em contato com o ar; substâncias e misturas que, em contato com a água, emitem gases inflamáveis; e substâncias que provocam incêndios sob a ação do calor.

Figura 15 - Pictogramas da FISPQ do CM-30



Fonte: Brasquímica (2016)

3.1.3 EAP RR-1C

Pinto & Pinto (2015) destacam que o RR-1C é um tipo de emulsão asfáltica de ruptura rápida (RR), uma vez que o processo de ruptura da emulsão, que consiste na devolução do CAP ao estado em que se encontrava antes do processo de emulsificação, ocorre em velocidades elevadas. Os referidos autores afirmam ainda que número 1 que acompanha o nome do produto está relacionado à faixa de viscosidade de Saybolt-Furol observada e corresponde ao intervalo de 20 a 90 segundos, e que o termo “C” significa catiônica e está relacionado à carga apresentada pela emulsão, que nesse caso é positiva.

Segundo descrito por Brasquímica (2016) na FISPQ do RR1-C, a exposição ao produto ocasiona irritação da pele com vermelhidão, ressecamento, dor e coceira; provoca irritação ocular grave com vermelhidão, dor nos olhos, lacrimejamento e prurido, podendo causar conjuntivite. A FISPQ destaca que a exposição aos fumos gerados pelo aquecimento do produto causam narcose com tontura, sonolência, dor de cabeça, náusea e, irritação ao trato respiratório com tosse, dor de garganta, ardência e dificuldade respiratória; e que os referidos fumos podem causar dermatite, melanoses, lesões parecidas com acne, queratoses e danos aos pulmões após contato repetido ou prolongado.

O pictograma que representa os perigos do RR-1C consta destacado na Figura 16.

Figura 16 - Pictograma da FISPQ do RR-1C

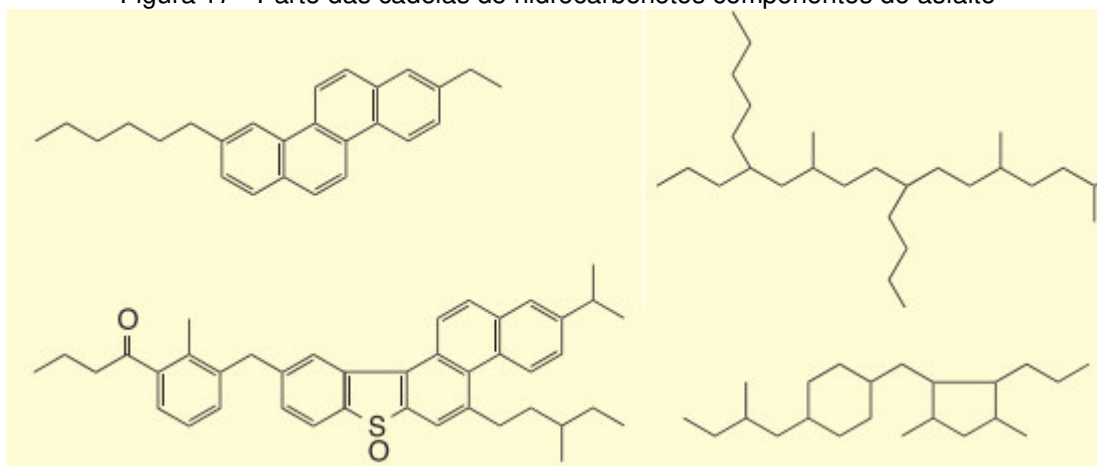


Fonte: Brasquímica (2016)

3.2. Análise das FISPQs do BTEX

Os insumos utilizados na pavimentação asfáltica apresentam estruturas complexas, com composição variável, envolvendo longas cadeias de hidrocarbonetos alifáticos, aromáticos e heterocíclicos, conforme destacado por Shell Bitumen (2003) na Figura 17.

Figura 17 - Parte das cadeias de hidrocarbonetos componentes do asfalto



Fonte: Shell Bitumen (2003)

No entanto, suas respectivas FISPQs mencionam os sintomas associados à exposição a toda essa complexa estrutura. Desta forma, como o propósito do trabalho é avaliar a exposição ocupacional de trabalhadores a substâncias específicas produzidas a partir da aplicação desses insumos, é necessário avaliar, de forma individualizada, as FISPQs relacionadas a benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno.

A empresa Braskem (2017) destaca em sua FISPQ do benzeno que a exposição à substância está associada a ocorrência de vários sintomas; afirma que em casos de inalação, pode afetar o sistema nervoso, causando dores de cabeça, tontura, náuseas, fraqueza, perda de coordenação e inconsciência. Consta ainda na FISPQ que, caso haja contato do produto com a pele, ocorre irritação, vermelhidão e

formação de fissuras. É mencionado ainda no referido documento que a substância é irritante para os olhos; que se for ingerida, pode ocasionar irritação gastrointestinal, vômito e diarreia e que, no caso de aspiração para os pulmões, pode causar pneumonia química.

A Braskem (2017) destaca em sua FISPQ do tolueno que a exposição à substância pode provocar irritação da pele, quando há contato; irritação dos olhos e do trato respiratório, quando inalada, ocasionando tosse, depressão no SNC, dores de cabeça, tonturas, sonolência, perda de coordenação e, para os casos de aspiração para os pulmões, quadro de pneumonia por agentes químicos.

A empresa Carl Roth (2017) menciona em sua ficha de dados de segurança do etilbenzeno que, em caso de ingestão da substância, ocorrem sintomas como náuseas e vômito; para o caso de inalação, provoca irritação das vias respiratórias, sonolência e tonturas e, caso haja contato com a pele, apresenta efeito desengordurante. É destacado ainda no referido documento a ocorrência de sintomas como dores de cabeça, vertigem, câimbras e narcose associadas à exposição ao produto.

Conforme destacado pela empresa Química Credie (2012) em sua FISPQ do xileno, a substância, se inalada, pode provocar irritação das vias aéreas, dores de cabeça, náuseas, tonturas, sonolência e, quando em altas concentrações, pode ocasionar lesões pulmonares, perda de consciência e até a morte. É mencionado ainda na FISPQ que o contato do produto com a pele ou olhos provoca irritação ou queimadura; caso o contato seja prolongado, observa-se a ocorrência de dermatite por ressecamento; caso haja aspiração, pode provocar pneumonia química. O referido documento associa o contato com a substância a sintomas como fadiga facial, perda de apetite, insônia e emagrecimento.

Destaca-se que os pictogramas observados nas fichas do benzeno, tolueno etilbenzeno e xileno são os mesmos do ADP CM-30. A única diferença observada foi o acréscimo do símbolo referente à característica de tóxico para a vida aquática, destacado na Figura 18 na FISPQ do xileno.

Figura 18 - Pictograma da FISPQ do xileno



Fonte: Química Credie (2012)

3.3 Análise Comparativa de Toxicidade

A toxicidade é a capacidade de um agente de provocar efeitos nocivos ao organismo dos seres vivos. A toxicidade aguda é a capacidade de um determinado contaminante de gerar esses efeitos após um período relativamente curto de exposição, medida através de um parâmetro chamado dose letal mediana (DL_{50} ou LD_{50}) ou dose letal média, que representa a dose, em miligramas da substância por quilograma da espécie contaminada, que é capaz de provocar a morte de 50% da população analisada. Destaca-se que, pelo próprio conceito do indicador, quanto menor for o valor do DL_{50} , maior a toxicidade da substância avaliada.

O parâmetro DL_{50} é um valor estimado com base em uma espécie-referência, como ratos ou coelhos, e de acordo com a via de contato com o contaminante, como oral, dérmica ou por inalação. Utilizando-se o parâmetro DL_{50} para a espécie rato, a WHO (2009) estabelece a classificação de toxicidade destacada na Tabela 01.

Tabela 01 - Classificação de toxicidade segundo a WHO

CLASSE	DESCRIÇÃO	LD 50 PARA RATO (mg/kg)	
		Oral	Dérmica
Ia	Extremamente Tóxico	< 5	< 50
Ib	Altamente Tóxico	5 - 50	50 - 200
II	Moderadamente Tóxico	50 - 2000	200 - 2000
III	Ligeiramente Tóxico	Acima de 2000	Acima de 2000
U	Pouco provável de apresentar toxicidade aguda	5000 ou superior	

Fonte: Adaptado de WHO (2009)

No item “Informações Toxicológicas” presente nas FISPQs dos insumos utilizados na execução dos serviços de pavimentação asfáltica, constam mencionados apenas os valores de toxicidade aguda (DL_{50}) referente aos macro-compostos que fazem parte dos referidos insumos, que no caso em análise constam resumidos à asfalto e querosene. Tais parâmetros são destacados nas Tabelas 02, 03 e 04.

Tabela 02 - Toxicidade aguda do CAP 50/70 - DL_{50}

SUBSTÂNCIA	DL 50 (mg/kg)	ESPÉCIE	VIA
Asfalto	5000	Rato	Oral
Asfalto	2000	Rato	Pele

Fonte: Adaptado de Brasquímica (2014)

Tabela 03 - Toxicidade aguda do ADP CM-30 - DL_{50}

SUBSTÂNCIA	DL 50 (mg/kg)	ESPÉCIE	VIA
Asfalto	5000	Rato	Oral
Asfalto	2000	Rato	Pele
Querosene	5000	Rato	Oral
Querosene	2000	Rato	Pele

Fonte: Adaptado de Brasquímica (2016)

Tabela 04 - Toxicidade aguda da EAP RR-1C - DL_{50}

SUBSTÂNCIA	DL 50 (mg/kg)	ESPÉCIE	VIA
Asfalto	5000	Rato	Oral
Asfalto	2000	Rato	Pele

Fonte: Adaptado de Petrobras (2015)

Para se obter as referências aplicáveis a benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno em termos de toxicidade aguda, buscou-se analisar as FISPQs específicas relacionadas às essas substâncias.

Os valores de DL_{50} do benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno obtidos foram consolidados na Tabela 05.

Tabela 05 - Quadro comparativo de toxicidade aguda de BTEX - Parâmetro DL_{50}

SUBSTÂNCIA	DL 50 (mg/kg)	ESPÉCIE	VIA	FISPQ
Benzeno	930	Rato	Oral	Isofar (2013)
	> 8.260	Coelho	Dérmica	Isofar (2013)
Tolueno	2.600	Rato	Oral	Braskem (2017)
	12.000	Coelho	Dérmica	Braskem (2017)
Etilbenzeno	3.500	Rato	Oral	Merck (2017)
	15.354	Coelho	Dérmica	Merck (2017)
Xileno	4.300	Rato	Oral	Petrobras (2017)
	12.126	Coelho	Dérmica	Petrobras (2017)

Fonte: Adaptado de Isofar (2013), Braskem (2017), Merck (2017) e Petrobras (2017)

Avaliando-se o parâmetro DL_{50} nos ratos, adotando como referência a contaminação por via oral, observa-se que o acréscimo no nível de toxicidade aguda é dado na seguinte ordem: xileno (4.300 mg/kg) < etilbenzeno (3.500 mg/kg) < tolueno (1.600mg/kg) < benzeno (930 mg/kg). Segundo a classificação estabelecida pela WHO, o benzeno seria enquadrado como substância moderadamente tóxica e o tolueno, xileno e etilbenzeno como substâncias ligeiramente tóxicas.

3.4 Classificação da Carcinogenicidade do BTEX

A *International Agency for Research on Cancer* (IARC) é uma instituição de pesquisa que faz parte da Organização Mundial da Saúde (WHO) e foi responsável por estabelecer um formato de classificação de substâncias em relação à sua carcinogenicidade. Na classificação proposta pela WHO, são definidos cinco grupos (WHO,2016):

- a) O grupo 1 é utilizado quando a substância é carcinogênica para humanos, ou seja, quando há evidência suficiente de carcinogenicidade em humanos.
- b) O grupo 2A é utilizado quando a substância é provavelmente carcinogênica para humanos, ou seja, quando há evidência limitada de carcinogenicidade em humanos e evidência suficiente de carcinogenicidade em animais em laboratório.
- c) O grupo 2B é utilizado quando a substância é possivelmente carcinogênica para humanos, ou seja, quando há evidência limitada de sua carcinogenicidade em humanos e há evidência menos que suficiente de sua carcinogenicidade em animais em laboratório.
- d) O grupo 3 é utilizado quando a substância não é classificável quanto à sua carcinogenicidade em humanos, ou seja, quando a evidência de carcinogenicidade em humanos é inadequada e quando a evidência de carcinogenicidade em animais em laboratório é inadequada ou limitada.
- e) O grupo 4 é utilizado quando a substância é provavelmente não carcinogênica para humanos, ou seja, quando há evidência sugerindo ausência de carcinogenicidade.

Em termos de potencial carcinogênico, a WHO, através do IARC, apresenta o enquadramento do BTEX conforme descrito na Tabela 06.

Tabela 06 - Classificação da Carcinogenicidade do BTEX segundo a WHO

SUBSTÂNCIA	GRUPO	DETALHE DO GRUPO
Benzeno	1	Carcinogênico para humanos
Etilbenzeno	2B	Possivelmente carcinogênica para humanos
Tolueno	3	Não classificável quanto à sua carcinogenicidade em humanos
Xileno	3	Não classificável quanto à sua carcinogenicidade em humanos

Fonte: Adaptado de WHO (2018)

A *American Conference of Governmental Industrial Hygienists* (ACGIH), ou Conferência Americana de Higienistas Industriais Governamentais, também estabelece um modelo de classificação de carcinogenicidade, embasado em critérios similares aos adotados pela WHO:

- a) Grupo A1 - carcinogênico humano confirmado - quando há estudos epidemiológicos que confirmam que o agente é carcinogênico para humanos.
- b) Grupo A2 - carcinogênico humano suspeito - quando há evidências limitadas de carcinogenicidade em humanos, mas existem evidências suficientes em animais.
- c) Grupo A3 - carcinogênico animal confirmado com relevância desconhecida para seres humanos - quando os estudos epidemiológicos não confirmam um aumento de risco de câncer em humanos expostos e as evidências não sugerem que o agente seja um provável causador de câncer em humanos, salvo em condições excepcionais de ingresso no corpo ou de níveis de exposição.
- d) Grupo A4 - não classificável como carcinogênico humano - quando se acredita que o agente possa ser carcinogênico para humanos, mas os dados disponíveis são insuficientes para chegar a esta afirmação, destacando que os estudos com animais não fornecem indicação de carcinogenicidade que permita o enquadramento em outra categoria.
- e) Grupo A5 - Não suspeito como carcinogênico humano - quando não se acredita que o agente seja carcinogênico para humanos, com base em resultados obtidos em pesquisas epidemiológicas conduzidas em humanos

O enquadramento do BTEX segundo a ACGIH, em termos de carcinogenicidade, consta consolidado na Tabela 07.

Tabela 07 - Classificação de carcinogenicidade do BTEX segundo a ACGIH

SUBSTÂNCIA	GRUPO	DETALHE DO GRUPO
Benzeno	A1	Carcinogênico humano confirmado
Etilbenzeno	A3	Carcinogênico animal confirmado com relevância desconhecida para seres humanos
Tolueno	A4	Não classificável como carcinogênico humano
Xileno	A4	Não classificável como carcinogênico humano

Fonte: Adaptado de ACGIH (2018)

Comparando as classificações propostas, observa-se que o enquadramento das substâncias analisadas é bastante similar, com carcinogenicidade comprovada apenas para o benzeno.

4 EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL (EPI)

Diante da análise de atividades que envolvam a exposição dos trabalhadores à agentes químicos, faz-se necessária a atuação dos empregadores no sentido de garantir a saúde e integridade física dos mesmos. O labor nas frentes de trabalho de pavimentação asfáltica envolve a utilização de insumos complexos derivados do petróleo, em altas temperaturas e sob a presença constante de equipamentos em operação.

Para conter o potencial impacto gerado pelas atividades, deve-se inicialmente verificar a possibilidade da realização de mudanças nos procedimentos de trabalho ou a adoção de medidas de proteção coletiva, de forma que seja reduzida a exposição de cada trabalhador aos agentes insalubres. Em se tratando de serviços de aplicação de misturas usinadas a quente, é importante observar que as frentes de trabalhos são móveis, os serviços são realizados a céu aberto, ocorre o contato bem próximo dos trabalhadores com o insumo e, portanto, as medidas administrativas e de proteção coletiva não são suficientes para reduzir o risco de exposição. Nesse caso torna-se imprescindível a utilização dos equipamentos de proteção individual (EPIs).

Segundo a Norma Regulamentadora nº 6 - Equipamento de Proteção Individual - EPI do Ministério do Trabalho e Emprego (MTE), os EPIs consistem em dispositivos ou produtos, de uso individual, destinados à proteção do trabalhador dentro do ambiente laboral contra riscos a sua segurança ou saúde. A própria NR 6 destaca a necessidade da utilização de EPIs quando as medidas de ordens geral, relacionadas a modificações na estrutura do ambiente de trabalho ou no procedimento para execução das atividades, assim como as medidas de proteção coletiva forem insuficientes para oferecer a completa proteção do trabalhador contra o risco de acidentes ou da ocorrência de doenças profissionais.

Em relação aos tipos de EPIs disponíveis, o anexo I da referida NR apresenta nove categorias, formalmente divididas em:

- 1) EPI para proteção da cabeça, como o capuz ou balaclava, indicado contra riscos de origem térmica e agentes que possam atingir crânio, pescoço e face.
- 2) EPI para proteção dos olhos e face, como óculos, indicados contra radiação ultravioleta e para evitar o contato com outras partículas presentes no ar;
- 3) EPI para proteção auditiva, como o protetor auditivo circum-auricular (tipo concha), indicado para ambientes de trabalho com nível elevado de ruído;
- 4) EPI para proteção respiratória, como o respirador purificador de ar não motorizado do tipo peça semifacial filtrante PFF2, indicado para proteção das vias respiratórias contra poeiras, névoas e fumos;
- 5) EPI para proteção do tronco, como vestimentas, indicada contra riscos de origem térmica;
- 6) EPI para proteção dos membros superiores, como luvas e mangas, para proteção das mãos, braço e antebraço contra agentes químicos e térmicos;
- 7) EPI para proteção dos membros inferiores, como calçados, para proteção dos pés contra agentes térmicos e químicos;
- 8) EPI para proteção do corpo inteiro, como macacão, para proteção do corpo contra agentes térmicos e químicos;
- 9) EPI para proteção contra quedas com diferença de nível, como cinto trava-quedas;

Na execução dos serviços de pavimentação asfáltica, parte dos profissionais envolvidos encontram-se rotineiramente expostos a ruído, calor, radiação não-ionizante e agentes químicos.

À *priori*, objetivando garantir a proteção desses trabalhadores contra riscos a saúde e sem adentrar no mérito da avaliação quantitativa da exposição a riscos físicos e químicos nos ambientes de trabalho, faz-se necessária a disponibilização dos EPIs destacados na Figura 19 para a realização das atividades já mencionadas, conforme descritivo a seguir:

- 1) Máscara do tipo semifacial filtrante com filtros para poeira e vapores orgânicos para os trabalhadores que trabalham diretamente em contato próximo com a mistura usinada a quente.
- 2) Protetor auricular do tipo concha para o operador e mesista da vibroacabadora e para o operador do rolo compactador
- 3) Óculos de segurança com proteção lateral como medida contra raios ultra-violeta e contra contato com partículas presentes no ar para todos que atuam nas frentes de serviço.
- 4) Creme de proteção solar para todos que atuam nas frentes de serviço.
- 5) Capuz com boné para todos que atuam nas frentes de serviço.
- 6) Botas para alta temperatura para todos que atuam nas frentes de serviço.
- 7) Calça, camisa de manga comprida e colete refletivo para todos que atuam nas frentes de serviço.
- 8) Luvas de raspa, para todos os profissionais que atuam nas frentes de serviço.

Figura 19 - EPIs para pavimentação asfáltica



Fonte: Adaptado do Site da 3M. Disponível em https://www.3m.com.br/3M/pt_BR/epi/

5 LIMITES PARA EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL

5.1 Normas Nacionais

Para realização da análise do risco ocupacional dos trabalhadores envolvidos nas atividades de pavimentação asfáltica, torna-se necessária a avaliação da exposição de cada grupo de colaboradores aos agentes ambientais. A Norma Regulamentadora (NR) nº 15 - Atividades e Operações Insalubres, do Ministério do Trabalho e Emprego (MTE) divide tais agentes em três categorias: agentes físicos, como ruído, vibrações, temperaturas extremas, pressões anormais, radiações ionizantes e radiações não ionizantes; agentes químicos, como gases, vapores, poeiras, fumos, névoas e neblinas; e agentes biológicos, como vírus, bactérias, fungos, algas e parasitas.

No Brasil existem parâmetros legalmente estabelecidos para a avaliação da exposição ocupacional aos agentes químicos. A definição desses parâmetros originou-se no artigo 189 da Consolidação das Leis do Trabalho (CLT), que estabelece o conceito de atividades insalubres da forma destacada a seguir:

Art. 189 - Serão consideradas atividades ou operações insalubres aquelas que, por sua natureza, condições ou métodos de trabalho, exponham os empregados a agentes nocivos à saúde, acima dos limites de tolerância fixados em razão da natureza e da intensidade do agente e do tempo de exposição aos seus efeitos. (BRASIL, 1943)

Ainda sobre a caracterização das atividades insalubres, o artigo 190 da CLT acrescenta o que se segue:

Art. 190 - O Ministério do Trabalho aprovará o quadro das atividades e operações insalubres e adotará normas sobre os critérios de caracterização da insalubridade, os limites de tolerância aos agentes agressivos, meios de proteção e o tempo máximo de exposição do empregado a esses agentes. (BRASIL, 1943)

Observa-se que o artigo 190 da CLT delega ao Ministério do Trabalho a função de classificar quais atividades devem ser consideradas como insalubres e estabelecer os Limites de Tolerância (LTs) dos agentes nocivos à saúde. Tal regulamentação foi formalizada pelo MTE através da NR 15.

O enquadramento das atividades laborais como insalubres é realizado através da NR 15 e seus anexos, estabelecendo três possibilidades distintas, que constam elencadas a seguir:

15.1 São consideradas atividades ou operações insalubres as que se desenvolvem:

15.1.1 Acima dos limites de tolerância previstos nos Anexos n.º 1, 2, 3, 5, 11 e 12;

15.1.3 Nas atividades mencionadas nos Anexos n.º 6, 13 e 14;

15.1.4 Comprovadas através de laudo de inspeção do local de trabalho, constantes dos Anexos n.º 7, 8, 9 e 10 (BRASIL, 2014)

O item 15.1.1 da norma em destaque trata da classificação de uma determinada atividade como insalubre quando a mesma é executada em ambientes nos quais os trabalhadores estão expostos a agentes físicos ou químicos em concentrações ou intensidades acima dos seus respectivos limites de tolerância.

Os limites de tolerância se configuram como parâmetros fundamentais para avaliação da exposição ocupacional dos trabalhadores e são claramente definidos na NR 15:

15.1.5 Entende-se por "Limite de Tolerância", para os fins desta Norma, a concentração ou intensidade máxima ou mínima, relacionada com a natureza e o tempo de exposição ao agente, que não causará dano à saúde do trabalhador, durante a sua vida laboral. (BRASIL, 2014)

Em relação à análise específica da exposição a agentes químicos, o anexo 11 da NR 15 estabelece um formato de caracterização da insalubridade por meio da avaliação da concentração das referidas substâncias nos locais de trabalho. O anexo em questão é a referência inicial para avaliação da exposição ocupacional dos trabalhadores da área de pavimentação asfáltica a benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno.

O anexo 11 apresenta uma tabela de limites de tolerância, chamada de quadro nº 1, que contém os limites de tolerância, em mg/m³ e ppm, para um rol exaustivo de agentes químicos, considerando a absorção por via respiratória em uma jornada de trabalho de até 48 horas semanais. Pelo próprio conceito do parâmetro em análise, pode-se afirmar que as atividades que expõem o trabalhador a concentrações superiores às dispostas na tabela mencionada são classificadas pela NR 15 como insalubres.

Observa-se, no entanto, que a tabela não apresenta referenciais de concentração para todos os compostos químicos possivelmente presentes nos locais de trabalho. Também é importante mencionar que não consta LT específico para o benzeno. Destaca-se que o referido composto já fez parte dessa tabela, mas foi explicitamente excluído por meio da portaria nº 03/1994 da Secretaria de Segurança e Saúde no Trabalho (SSST). Atualmente constam elencados no quadro nº 01 da NR

15 os limites de tolerância para alguns derivados do benzeno, conforme descrito na Tabela 08.

Tabela 08 - Exemplos de limites de tolerância previstos na NR 15

COMPOSTO	LT (ppm)	LT (mg/m ³)
Clorobenzeno	59	275
o-Diclorobenzeno	39	235
2,4 Diisocianato de tolueno (TDI)	0,016	0,11
Estireno	78	328
Etilbenzeno	78	340
Fenol	4	15
Cumeno	39	190
Tolueno (toluol)	78	290
Xileno (xilol)	78	340

Fonte: Adaptado de Brasil (2014)

A NR 15 estabelece de forma clara os LTs para tolueno, xileno e etilbenzeno, substâncias que serão analisadas com base nas amostras coletadas nos locais de trabalho.

Em relação a ausência de limite específico para o benzeno, é preciso esclarecer que a mesma portaria que foi responsável por realizar a exclusão do LT do benzeno do quadro nº 01 da NR 15, também realizou a inclusão do benzeno anexo 13 da NR 15, que engloba as substâncias cancerígenas, para as quais não deveria ser permitida exposição ou contato por qualquer via.

Posteriormente, a portaria SSST nº 14/1995 incluiu o anexo 13-A na NR 15, o qual estabelece procedimentos de controle da exposição ocupacional ao benzeno. O novo anexo considera o benzeno um produto comprovadamente cancerígeno, mas restringe a aplicabilidade do seu texto a empresas que produzem, transportam, armazenam, utilizam ou manipulam benzeno e suas misturas líquidas contendo 1% ou mais de volume.

Com o objetivo de estabelecer um referencial para análise da exposição ocupacional ao benzeno, o item 6 do anexo 13-A apresenta um novo conceito, chamado de Valor de Referência Tecnológico (VRT), que é definido como a concentração de benzeno no ar considerada exequível do ponto de vista técnico. No mesmo anexo é exigido que o referido parâmetro seja utilizado como referência para os programas de melhoria contínua do ambiente de trabalho. No entanto, o item em questão afirma que a medição de concentrações de benzeno em valores inferiores ao VRT não exclui o risco a saúde. Trata-se então de um conceito distinto do que seriam

os LTs. No entanto, o VRT não pode deixar de figurar como referencial nacional a ser observado nas avaliações de benzeno.

A referência de concentração de benzeno adotada pelo anexo é o VRT-média ponderada no tempo (VRT-MPT), que corresponde à concentração média de benzeno no ar, ponderada pelo tempo, em uma jornada de trabalho de 8 horas, medida na zona de respiração dos trabalhadores. O item 7 do anexo em análise define dois valores limites de VRT-MPT, sendo 2,5 ppm para as empresas siderúrgicas e 1 ppm para as demais empresas que produzem, transportam, armazenam, utilizam ou manipulam benzeno e suas misturas líquidas (contendo 1% ou mais de volume). Muito embora a norma não apresente justificativa explícita para a adoção de diferentes VRTs para uma mesma substância, pode-se traçar o entendimento de que o menor valor é utilizado no cenário em que possíveis exposições dos colaboradores seriam potencialmente mais danosas à saúde, por conta da natureza dos serviços executados e em decorrência do formato de contato com o produto.

5.2 Normas Internacionais

Conforme já mencionado previamente, o anexo 11 da NR 15 não apresenta limites de tolerância para uma grande quantidade de substâncias químicas.

Em decorrência desse cenário, a NR 9 - Programa de Prevenção de Riscos Ambientais (PPRA), também elaborada pelo MTE, já estabelecia como medida de controle da exposição ocupacional, a possibilidade de utilização dos parâmetros elaborados pela *American Conference of Governmental Industrial Hygienists*, conforme descrito em seu item 9.3.5:

9.3.5 Das medidas de controle.

9.3.5.1 Deverão ser adotadas as medidas necessárias suficientes para a eliminação, a minimização ou o controle dos riscos ambientais sempre que forem verificadas uma ou mais das seguintes situações:

[...]

c) quando os resultados das avaliações quantitativas da exposição dos trabalhadores excederem os valores dos limites previstos na NR-15 ou, na ausência destes os valores limites de exposição ocupacional adotados pela ACGIH - American Conference of Governmental Industrial Hygienists, ou aqueles que venham a ser estabelecidos em negociação coletiva de trabalho, desde que mais rigorosos do que os critérios técnico-legais estabelecidos; (BRASIL, 2017)

Cabe destacar ainda que os próprios valores que constam descritos no quadro 1 do anexo 11 da NR 15 foram inspirados em publicações antigas da ACGIH e há bastante tempo não sofrem revisões. A ausência de revisões normalmente implica na utilização de um referencial nacional desatualizado, com LTs associados a concentrações consideravelmente superiores às aquelas aceitáveis em outros países.

Destaca-se que o foco da análise não se restringe unicamente à verificação de adequação das concentrações observadas nos locais de trabalho aos limites permitidos pelas normas nacionais. Busca-se também atenuar os possíveis impactos gerados na saúde do trabalhador e, para atingir tal objetivo, torna-se imprescindível a observância dos referenciais internacionais mais adequados quando da avaliação das medições realizadas.

A ACGIH é uma associação que possui cunho científico e atua no sentido de publicar e revisar anualmente referenciais relacionados à exposição ocupacional, os quais podem ser utilizados como índices orientadores na tomada de decisão quando da avaliação do nível de exposição a agentes físicos e químicos nos ambientes de trabalho.

A ACGIH destaca que seus referenciais não foram desenvolvidos para serem utilizados como padrões legais, mas reconhece que as empresas podem aplicá-los como uma medida suplementar em seus programas de segurança e medicina do trabalho (ACGIH, 2018).

Os parâmetros de referência da ACGIH para avaliação da concentração de substâncias químicas nos ambientes de trabalho são chamados de *Threshold Limit Values* (TLV) ou Limites de Exposição Ocupacional. Sobre os TLVs, a ACGIH (2018) estabelece o seguinte conceito:

Os limites de exposição (TLVs) referem-se às concentrações das substâncias químicas dispersas no ar e representam condições às quais acredita-se, que a maioria dos trabalhadores possa estar exposta, repetidamente, dia após dia, durante toda uma vida de trabalho, sem sofrer efeitos adversos à saúde (ACGIH, 2018, p.3)

A referida instituição divide os TLVs em três categorias:

1. TLV - *Time Weighted Average* (TLV-TWA), ou valor limite ponderado no tempo, que é a concentração média ponderada no tempo para uma jornada de 8 horas diárias e 40 horas semanais, para a qual a maioria dos trabalhadores pode estar repetidamente exposta, dia após dia, sem sofrer efeitos adversos à saúde.

2. TLV - *Short-Term Exposure Limit* (TLV-STEL) ou valor limite de exposição de curta duração, que é uma concentração ponderada em um intervalo de tempo de 15 minutos, que não pode ser excedida durante a jornada de trabalho, mesmo que o parâmetro TLV-TWA esteja dentro do limite permitido.
3. TLV-*Ceiling* (TLV-C) ou Valor Teto, que é a concentração que não pode ser excedida em nenhum momento da jornada de trabalho.

À título de comparação, é necessário destacar que a NR 15, em seu anexo 11, também apresenta indicador de exposição ocupacional com conceito idêntico ao TLV-C da ACGIH. No caso da norma nacional, o indicador é chamado de “Valor Teto”. Quando é registrada a presença desse indicador, o limite de tolerância apresentado para substância passa a se tornar um referencial que não deve ser ultrapassado em nenhum momento da jornada de trabalho, conforme descrição estabelecida no item 9 do anexo em mencionado:

9. Para os agentes químicos que tenham "VALOR TETO" assinalado no Quadro n.º 1 (Tabela de Limites de Tolerância) considerar-se-á excedido o limite de tolerância, quando qualquer uma das concentrações obtidas nas amostragens ultrapassar os valores fixados no mesmo quadro (BRASIL, 2014)

Como exemplo da utilização do conceito de valor teto na NR 15, pode-se citar o 2,4 Diisocianato de tolueno, conforme destacado na Tabela 09.

Tabela 09 - Limite de tolerância utilizado como valor teto - NR 15

AGENTE QUÍMICO	VALOR TETO	ATÉ 48 HORAS SEMANAIS	
2,4 Diisocianato de tolueno (TDI)	+	ppm	mg/m ³
		0,016	0,11

Fonte: Adaptado de Brasil (2014)

Em relação a comparação entre os tipos de parâmetros mencionados, a ACGIH (2018) destaca que substâncias com TLVs similares não necessariamente possuem os mesmos efeitos toxicológicos no organismo; que o parâmetro TLV-STEL não necessariamente representa proteção ao trabalhador se o parâmetro TLV-TWA for excedido; e que exposições que estejam acima do valor TLV-TWA e abaixo do valor TLV-STEL não devem durar mais de 15 minutos, não devem ocorrer mais de 4 vezes por dia e devem estar separadas por intervalos de no mínimo 60 minutos.

Muito embora não haja previsão expressa na legislação nacional que remeta o avaliador a utilização de outras fontes de parâmetros de exposição

ocupacional, não se pode descartar dentro da análise, a comparação das concentrações obtidas em laboratório com os referenciais publicados por outras instituições renomadas, como o *National Institute for Occupational Safety and Health* (NIOSH) ou Instituto Nacional para Saúde e Segurança Ocupacional e a *Occupational Safety and Health Administration* (OSHA) ou Agência de Saúde e Segurança Ocupacional. O propósito dessa comparação mais ampla é de verificar a adequação da exposição do trabalhador aos níveis mais confiáveis e conservadores, segundo os estudos mais recentes na área de higiene ocupacional.

Em relação ao BTEX, a ACGIH (2018), em sua publicação mais atualizada dos limites de exposição ocupacional para substâncias químicas, estabelece os referenciais de TLV-TWA e TLV-STEL destacados na Tabela 10.

Tabela 10 – Limites de Exposição Ocupacional (TLVs) para BTEX publicados pela ACGIH

SUBSTÂNCIA	TLV-TWA	TLV-STEL
Benzeno	0,5 ppm	2,5 ppm
Tolueno	20 ppm	-
Etilbenzeno	20 ppm	-
Xileno	100 ppm	150 ppm

Fonte: Adaptado de ACGIH (2018)

Seguindo lógica semelhante à utilizada pela ACGIH, a NIOSH (2007) estabelece três formatos de referenciais de exposição, chamados de *Recommended Exposure Limits* (REL) ou limites de exposição recomendados, divididos em valores REL-TWA (média ponderada no tempo para jornada de até 10 horas diárias durante uma jornada semanal de 40 horas), REL-St (média ponderada no tempo para exposição em período de 15 minutos) e REL-C (valor teto). A NIOSH (2007) define ainda as concentrações chamadas *Immediately Dangerous to Life or Health* (IDLH), que estão associadas a exposições que apresentam ameaça imediata à vida ou saúde, ou ameaça de severa exposição a contaminantes. A NIOSH (2007) define que os valores IDLH são parâmetros de concentração aérea abaixo dos quais um trabalhador pode escapar sem ferimentos ou efeitos irreversíveis na saúde, quando da ocorrência de falha do equipamento de proteção respiratória. Os limites de exposição estabelecidos pela NIOSH constam destacados na Tabela 11.

Tabela 11 - Limites de Exposição Recomendados (RELs) para BTEX publicados pela NIOSH

SUBSTÂNCIA	REL-TWA	REL-ST	IDLH
Benzeno	0,1 ppm	1 ppm	500 ppm
Tolueno	100 ppm (375 mg/m³)	150 ppm (560 mg/m³)	500 ppm
Etilbenzeno	100 ppm (435 mg/m³)	125 ppm (545 mg/m³)	800 ppm
o-Xileno	100 ppm (435 mg/m³)	150 ppm (655 mg/m³)	900 ppm
m-Xileno			
p-Xileno			

Fonte: Adaptado de NIOSH (2007)

A OSHA também estabelece referenciais de exposição ocupacional, que são os chamados *Permissible Exposure Limits* (PELs) ou Limites de Exposição Permissíveis. Seguindo modelo semelhante ao adotado pela ACGIH e pela NIOSH, a OSHA apresenta seus PELs em três formatos: os PEL-TWA (para jornada diária de 8 horas e jornada semanal de 40 horas), PEL-St (para intervalos de 15 minutos) e PEL-C (valor teto). Os PELs definidos pela OSHA para o BTEX constam destacados na Tabela 12.

Tabela 12 – Limites de Exposição Permissíveis (PELs) para BTEX publicados pela OSHA

SUBSTÂNCIA	PEL-TWA	PEL-St	PEL-C
Benzeno	1 ppm	5 ppm	-
Tolueno	10 ppm (37 mg/m³)	150 ppm (560 mg/m³)	500 ppm
Etilbenzeno	5 ppm (22 mg/m³)	30 ppm (130 mg/m³)	130 ppm
Xileno	100 ppm (435 mg/m³)	150 ppm (655 mg/m³)	300 ppm

Fonte: Adaptado de Site OSHA. Disponível em <https://www.osha.gov/dsg/annotated-pels>

Observa-se que os limites de exposição podem ser expostos tanto em ppm como mg/m³. Considerando-se condições normais de temperatura e pressão (25°C e 760 torr), o volume molar do ar em litros é de 24,45L e a conversão entre as referidas unidades é obtida, segundo a ACGIH (2018), pelas expressões matemáticas destacadas a seguir:

$$ppm = \frac{mg/m^3 * 24,45}{\text{peso molecular da substância em gramas}}$$

$$mg/m^3 = \frac{ppm * (\text{peso molecular da substância em gramas})}{24,45}$$

Em relação aos parâmetros estabelecidos na forma ponderada no tempo (TWA), é necessário realizar a sua adequação à jornada de trabalho da equipe que será avaliada. Normalmente, o período de exposição varia de acordo com acréscimo ou redução da jornada de trabalho. Desta forma, não se deve adotar o mesmo limite de exposição utilizado em uma jornada diária de 6 horas para uma jornada de 8 horas.

Para realizar a adequação, desses limites, Corrêa & Saliba (2014) mencionam a existência de três possíveis métodos de correção e destacam o modelo de Brief & Scala como o mais utilizado. O *Australian Institute of Occupational Hygienists*, ou *Instituto Australiano de Higienistas Ocupacionais - AIOH* (2016), afirma que o modelo desenvolvido por Brief & Scala é o mais conservador dentre os disponíveis, considerando o impacto do acréscimo de horas trabalhadas e o intervalo para recuperação entre os períodos de exposição. Utilizando a metodologia adotada por Brief & Scala, é necessário obter o fator de redução (FR), que deve ser aplicado sobre a concentração de referência. O cálculo do FR consta destacado na expressão a seguir:

$$FR = \frac{40}{h} * \frac{(168-h)}{128}, \text{ para exposição semanal}$$

A legislação trabalhista brasileira adota uma jornada semanal de 44 horas. A NIOSH, OSHA e ACGIH utilizam como referência para definição dos limites de exposição ponderados no tempo uma jornada de 40 horas semanais. Desta forma, uma vez que a jornada de referência é aumentada no cenário analisado, torna-se necessária a aplicação de um fator de redução nos limites elaborados para adequá-los à jornada brasileira. Parte-se do pressuposto que, quanto maior a jornada, maior a exposição e menor deve ser o limite de concentração admissível. Substituindo-se a nova carga horária no modelo desenvolvido por Brief & Scala, tem-se que:

$$FR = \frac{40}{44} * \frac{(168 - 44)}{128}$$

$$FR = 0,88$$

Aplicando-se o FR de 0,88 aos limites publicados pela NIOSH, OSHA e ACGIH, obtêm-se os parâmetros adequados à jornada de trabalho semanal legalmente prevista no Brasil. A Tabela 13 contém os limites de exposição ocupacional publicados pela NIOSH, OSHA e ACGIH para uma jornada de 40 horas semanais, em ppm e em mg/m³. A coluna “REFERÊNCIA 40h”, buscou os menores limites de exposição a BTEX para uma jornada de trabalho de 40 horas dentre aqueles publicados pelas instituições já mencionadas. A coluna “REFERÊNCIA ADAPTADO 44h” apresenta os valores da coluna “REFERÊNCIA 40h” corrigidos com o FR de 0,88 para uma jornada de 44 horas semanais. A coluna “LT (MTE) 44h” apresenta os limites de tolerância definidos pela NR 15 para uma jornada de 44 horas. Por último, a coluna “BASE FINAL 44h” lista os valores mais baixos encontrados ao se comparar os valores da coluna “REFERÊNCIA ADAPTADO 44h” com os valores publicados pelo MTE.

Desta forma, a última coluna, destacada em laranja, apresenta os parâmetros mais conservadores, os quais devem ser utilizados como base para a avaliação de exposição ocupacional a benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno em uma jornada de trabalho de 44 horas semanais. Destaca-se por último que as células com fundo branco foram retiradas diretamente de publicações de cada uma das instituições e que as células com fundo verde foram calculadas a partir das referidas publicações, com a utilização da fórmula de conversão de unidades (ppm para mg/m^3) já mencionada nesta pesquisa.

Tabela 13 - Comparativo dos limites de exposição ocupacional para 40 horas e 44 horas semanais

SUBST.	REL - TWA (NIOSH) 40h		PEL - TWA (OSHA) 40h		TLV - TWA (ACGIH) 40h		REFERÊNCIA 40h		REFERÊNCIA ADAPTADO 44h		LT (MTE) 44h		BASE FINAL 44h	
	ppm	mg/m^3	ppm	mg/m^3	ppm	mg/m^3	ppm	mg/m^3	ppm	mg/m^3	ppm	mg/m^3	ppm	mg/m^3
Benzeno	0,1	0,32	1	3,19	0,5	1,60	0,1	0,32	0,088	0,281	1	3,19	0,088	0,281
Tolueno	100	375	10	37	20	75,37	10	37,69	8,8	33,163	78	340	8,8	33,163
Etilbenzeno	100	435	5	22	20	86,85	5	21,71	4,4	19,106	78	290	4,4	19,106
Xileno	100	435	100	435	100	434,19	100	434,19	88	382,089	78	340	78	340

Fonte: Autor (2018)

6 MÉTODOS PARA AVALIAÇÃO DA EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL

A Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho (FUNDACENTRO) é a instituição vinculada ao Ministério do Trabalho e Emprego responsável por publicar as Normas de Higiene Ocupacional (NHOs), que consistem em referenciais nacionais em termos de metodologias para medição de agentes físicos e químicos nos ambientes de trabalho. Dentre as NHOs vigentes, a N^o 02 - Análise Qualitativa de Fração Volátil (Vapores Orgânicos) em colas, tintas e vernizes por Cromatografia Gasosa/Detector de Ionização de Chama, é a norma que aborda temática mais próxima do objeto deste trabalho. No entanto, por mais que a norma trate da identificação da presença de vapores orgânicos, a avaliação é realizada somente de forma qualitativa e, deste modo, não fornece elementos suficientes para a obtenção do nível de exposição ocupacional.

Muito embora a NR 15 não cite diretamente os métodos de amostragem e análise para avaliação da concentração de agentes químicos, o anexo 13-A determina, para o caso específico do benzeno, que as avaliações ambientais que

possam envolver a substância devem seguir os critérios estabelecidos na Instrução Normativa (IN) nº 01/1995 da SSST.

Mesmo que não exista menção expressa ao tolueno, xileno e etilbenzeno no texto da referida IN, não há qualquer restrição técnica que impeça a aplicação de boa parte dos dispositivos nela previstos aos procedimentos de medição dos referidos compostos, uma vez que o conteúdo da IN engloba recomendações metodológicas no sentido de proporcionar maior confiabilidade aos dados obtidos na coleta.

A IN supramencionada exige que a avaliação de benzeno nos locais de trabalho seja realizada através de etapas sequenciais, iniciando-se com o reconhecimento e caracterização do risco, a definição de estratégia da avaliação ambiental, a avaliação ambiental propriamente dita e se encerrando com a interpretação dos resultados.

As etapas de reconhecimento e caracterização se enquadram como um levantamento qualitativo que busca identificar os agentes químicos, físicos ou biológicos envolvidos em cada atividade, assim como os possíveis cenários de exposição e a extensão dos seus efeitos na saúde dos trabalhadores. A NR 09 (Programa de Prevenção de Riscos Ambientais - PPRA) estabelece, em seu item 9.3.3, as ações que devem ser abordadas nas referidas etapas:

9.3.3 O reconhecimento dos riscos ambientais deverá conter os seguintes itens, quando aplicáveis:

- a) a sua identificação;
- b) a determinação e localização das possíveis fontes geradoras;
- c) a identificação das possíveis trajetórias e dos meios de propagação dos agentes no ambiente de trabalho;
- d) a identificação das funções e determinação do número de trabalhadores expostos;
- e) a caracterização das atividades e do tipo da exposição;
- f) a obtenção de dados existentes na empresa, indicativos de possível comprometimento da saúde decorrente do trabalho;
- g) os possíveis danos à saúde relacionados aos riscos identificados, disponíveis na literatura técnica;
- h) a descrição das medidas de controle já existentes. (BRASIL, 2017)

A etapa de avaliação trata do dimensionamento real da exposição dos colaboradores aos riscos ambientais, buscando identificar, por atividade ou por grupo de atividades, de forma representativa, a intensidade ou concentração do agente capaz de causar danos à saúde do trabalhador. Sobre a referida etapa, a NR 09 faz menção específica à avaliação quantitativa, detalhando que a mesma deve ser realizada diante das seguintes necessidades:

- a) comprovar o controle da exposição ou a inexistência de riscos identificados na etapa de reconhecimento;
- b) dimensionar a exposição dos trabalhadores;

c) subsidiar o equacionamento das medidas de controle. (BRASIL, 2017)

A definição da estratégia de avaliação ambiental é a etapa fundamental para garantir a confiabilidade e a representatividade dos resultados obtidos na análise, assim como das conclusões estabelecidas a partir deles. A referida etapa envolve a escolha do tipo de coleta, do tamanho da amostra, de sua duração, da quantidade de coletas e do intervalo entre elas.

Já a etapa de interpretação dos resultados trata basicamente do confronto dos dados coletados com os limites de exposição estabelecidos nas normas nacionais e internacionais e da verificação da possibilidade de extensão dos registros estabelecidos na amostra para toda a população.

Esclarecidas as etapas, torna-se necessário prosseguir com a análise do atendimento a IN 01/1995 da SSST. A IN estabelece dois possíveis métodos de coleta das amostras, que são a coleta de amostra pessoal (ou individual) e a coleta de amostra de área (ambiental ou de ponto fixo). Em relação ao tempo de coleta, a norma limita a um turno inteiro de trabalho, no máximo.

Em relação às técnicas de coleta, a IN prevê a utilização de amostra única, amostras consecutivas, coletas parciais ou coletas instantâneas.

Sobre o número de coletas necessárias para que se torne possível a realização de uma avaliação estatística sobre a concentração de benzeno no ambiente laboral, a IN 01/1995 da SSST define que devem ser coletadas cinco amostras para cada grupo de funcionários. A norma mencionada destaca que as referidas amostras podem ser coletadas em um mesmo trabalhador, ou em até cinco trabalhadores do mesmo grupo de exposição. Desta forma, se existirem três grupos com níveis de exposição razoavelmente distintos, é necessária a utilização de quinze amostras (cinco para cada grupo) para se obter um dado representativo relacionado à exposição ocupacional.

É preciso destacar que a referida IN somente estabelece critérios gerais que devem ser obedecidos na avaliação de amostras que possivelmente indicarão a presença do benzeno. Destaca-se que a IN não realiza qualquer padronização dos métodos de coleta e de análise química, no entanto, é mencionado em seu item 4.2.7.h que podem ser utilizadas como referências as metodologias analíticas previstas nas normas de instituições como a Associação Brasileira de Normas Técnicas, a NIOSH, a OSHA e a *ACGIH* para determinar a concentração de benzeno na amostra.

Segundo Corrêa & Saliba (2014), para selecionar de forma adequada os instrumentos de avaliação da exposição a gases e vapores, deve-se levar em consideração a estratégia de amostragem (número de amostras por jornada, método e duração da coleta), o objetivo da avaliação (perícia técnica de insalubridade ou elaboração de PPRA), a disponibilidade de material, equipamentos e laboratórios especializados, as técnicas de coleta e análise necessárias e os custos envolvidos.

Os referidos autores classificam os métodos de coleta em quatro categorias, que são a coleta contínua com amostrador ativo, coleta contínua com amostrador passivo, coleta instantânea com tubos reagentes e coleta instantânea com instrumentação eletrônica.

6.1 Coleta Contínua com Amostrador Ativo

A coleta contínua com amostragem ativa é realizada utilizando-se equipamento que força a passagem do ar por um elemento que retém o contaminante. Neste modelo de coleta, acopla-se uma bomba gravimétrica (bomba de amostragem) a tubos com sólidos adsorventes, *impingers* com solução absorvente, filtros ou bolsas de gás. Para o referido processo de coleta, é necessária ainda a utilização de um calibrador. Tal dispositivo atua como referência para regular o fluxo de ar da bomba, de forma a adequá-lo ao nível exigido por cada medição. Outro item essencial em alguns processos de amostragem ativa é o redutor de vazão, utilizado quando se demanda da bomba de amostragem um fluxo de ar mais baixo, que ela por si só não teria condições de atingir. Após cada coleta, a amostra é encaminhada para laboratório de análises químicas para identificação da concentração dos contaminantes.

Os equipamentos relacionados à coleta contínua com amostrador ativo constam destacados na Figura 20.

Figura 20 - Bomba de amostragem, calibrador, redutor de vazão e tubo de carvão ativado



Fonte: Site da Instrubras Instrumentos de Medição. Disponível em
<<https://www.instrubras.com.br/seguranca-do-trabalho>>

Dentre os métodos de coleta contínua, a amostragem ativa se enquadraria como uma opção razoável para realização deste estudo, uma vez que os elementos de retenção, como tubos adsorventes, apresentam preços razoáveis; a bomba de amostragem e o calibrador podem ser reutilizados em novas medições e é garantida uma taxa de vazão constante durante a coleta. No entanto, o ponto crítico que prejudica a adoção dos amostradores ativos está relacionado à natureza das atividades executadas pelos trabalhadores e aos preparativos indispensáveis à utilização do equipamento. É necessária a calibração da bomba de amostragem antes do início de cada coleta; a bomba é alimentada com bateria de duração limitada; e o aparelho deve ser fixado na vestimenta do colaborador, sendo conectado ao tubo adsorvente por meio de uma mangueira. As atividades realizadas pelas equipes *in loco* exigem bastante movimentação, manipulação de ferramentas e condução de veículos pesados. Desta forma, seria inviável a fixação de todos esses aparelhos em um trabalhador no cenário de trabalho mencionado, pois haveria grande possibilidade do mesmo ser deslocado ou até danificado durante a execução das atividades. Outra desvantagem na utilização do referido modelo é a impossibilidade da realização de mais de uma coleta no mesmo dia, visto que, para cada coleta distinta, seria necessário um novo conjunto de equipamentos, ou seja, no caso de se estar trabalhando com um universo de quinze amostras e uma única bomba de amostragem, a coleta duraria no mínimo quinze dias, período este que é superior à duração de boa parte dos serviços de pavimentação asfáltica.

6.2 Coleta Contínua com Amostrador Passivo

O amostrador passivo ou dosímetro passivo, destacado nas Figuras 21 e 22, é o equipamento que permite a retenção do contaminante com base no princípio da difusão, com distribuição passiva do contaminante entre as duas fases: o material adsorvente do coletor e o ambiente da coleta.

Figura 21 - Amostrador Passivo SKC 575-002



. Fonte: Site da SKC Inc. Disponível em: <https://www.skcinco.com/catalog/pdf/instructions/1889.pdf>

Figura 22 - Amostrador Passivo 3M 3500 e 3520.



Fonte: Site da 3M. Disponível em: <http://solutions.3m.com.br/>

Em relação à coleta com dosímetro passivo, é utilizado apenas um pequeno amostrador fixado na vestimenta do trabalhador, próximo a sua zona respiratória. Correa & Saliba (2014) destacam que, nesse modelo, não é necessária a utilização de qualquer tipo de bomba para forçar a passagem do ar pelo amostrador, visto que a retenção do contaminante, conforme mencionado acima, acontece com base no fenômeno da difusão-adsorção. Após a coleta, o amostrador é encaminhado para um laboratório de análises químicas para identificação das concentrações dos contaminantes.

A vantagem do referido modelo é a simplicidade para obtenção das amostras. Após definido o tempo necessário para a coleta, basta retirar a tampa frontal do amostrador, fixá-lo ao EPI do trabalhador e, ao término do período de medição, retirá-lo, devolver sua tampa e encaminhá-lo ao laboratório. Nesse caso, observa-se que não é necessário qualquer processo de calibração ou controle de vazão e não são gerados empecilhos ou incômodos ao trabalhador na execução de suas atividades durante o período de coleta. Outro ponto positivo é a possibilidade de se

avaliar simultaneamente trabalhadores distintos, com um custo consideravelmente inferior ao que seria necessário para realizar coleta semelhante utilizando amostragem ativa.

O laboratório de análises químicas Analytics Brasil (2018) menciona que, dentre as desvantagens práticas da utilização de dosímetros passivos, estão a possibilidade de ocorrência de variações no processo de adsorção quando a velocidade do ar no ambiente de trabalho for muito alta ou extremamente baixa e a inexistência de indicador de saturação no amostrador.

6.3 Coleta Instantânea com Tubos Reagentes

Neste modelo são utilizados os chamados tubos colorimétricos, também conhecidos como tubos reagentes, associados às bombas de acionamento manual. Os referidos tubos apresentam indicação aproximada da concentração do contaminante após aspiração do ar nos locais de trabalho. Não se faz necessário o envio do tubo para análise em laboratório, uma vez que a leitura da concentração é feita de forma direta em sua própria superfície.

Saliba (2015) destaca que o mecanismo de funcionamento desse tipo coleta depende da aspiração de ar, realizada por meio de bomba de acionamento manual do tipo fole ou pistão, que força a passagem do mesmo através de tubos contendo compostos que reagirão com o contaminante e alterarão a coloração do conteúdo interno, ao longo de seu comprimento, de maneira proporcional a concentração do contaminante no ar aspirado. Tais equipamentos constam destacados na Figura 23.

Figura 23 - Bomba de amostragem manual e tubos colorimétricos



Fonte: Site da Instrutherm Instrumentos de Medição Ltda. Disponível em: <https://www.instrutherm.net.br/seguranca-e-medicina-do-trabalho.html>

Spinelli *et al.* (2015) afirma que devem ser utilizados tubos colorimétricos específicos para cada contaminante ou família de contaminantes que se deseja medir, uma vez que a alteração da coloração do interior do tubo está relacionada a uma reação química específica que, em teoria, somente ocorrerá na presença de um único contaminante. Observou-se a existência no mercado nacional de tubos colorimétricos distintos para benzeno, xileno, tolueno e etilbenzeno. Os referidos autores mencionam ainda que essa forma de coleta não é precisa, apresentando erros na média de 10% a 20%, chegando até a 40%. Correa & Saliba (2014) também citam variações na precisão dos resultados na faixa de 5 a 40% nas medições com os tubos reagentes e associam tais erros a influência de outro contaminante na reação, a coloração do tubo de maneira não uniforme, a baixa especificidade das reações químicas e até a aspiração incorreta pela bomba manual. Constata-se então que, devido à imprecisão dos referidos instrumentos, os tubos reagentes funcionam, na prática, como indicadores qualitativos da presença dos contaminantes no local onde ocorreu a coleta, com restrição de uso para verificação de suspeitas de vazamento ou para se ter uma estimativa da ordem de grandeza dos contaminantes existentes nos locais de trabalho. A única vantagem da referida coleta seria a obtenção do resultado dentro de poucos minutos.

6.4 Coleta Instantânea com Instrumentação Eletrônica

É utilizado detector eletrônico de gases que apresenta em seu visor, de forma imediata, a indicação da concentração do contaminante presente no ambiente, conforme ilustrado na Figura 24.

Figura 24 - Detector eletrônico de gases



Fonte: Site da Rae Systems Inc. Disponível em <https://www.raesystems.com/products>

Em relação à coleta com detector eletrônico de gases, trata-se do método mais simples em termos de obtenção de resultados, com a leitura direta da concentração identificada, sem a necessidade do envio de amostras para laboratório, uma vez que a análise já é feita pelo próprio equipamento. No entanto, o referido equipamento envolve tecnologia mais avançada, fato que eleva consideravelmente o seu preço, inviabilizando sua utilização para este trabalho.

6.5 Métodos Padronizados de Coleta e Análise Química Aplicáveis

A NIOSH e a OSHA também atuam na padronização dos métodos de coleta e análise química de contaminantes encontrados nas frentes de trabalho.

Buscando-se definir a solução mais adequada ao cenário desta pesquisa, foram identificadas, dentre os métodos disponibilizados pelas referidas instituições, as possibilidades enumeradas a seguir, que abordam diferentes procedimentos destinados a coleta e análise de amostras contendo benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno:

1. Método NIOSH 1501, utilizado para determinação da concentração de hidrocarbonetos aromáticos, como benzeno, tolueno, xileno e etilbenzeno, estabelece a forma de coleta por meio de tubos adsorventes de carvão ativado associados à bomba de amostragem e a análise química por meio de cromatografia gasosa com detector por ionização de chama (CG-DIC). A estabilidade da amostra é de trinta dias se mantida a 5°C, mas sofre interferência quando há presença de alta umidade e de solventes orgânicos voláteis (NIOSH, 2003). O referido método permite a análise de benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno a partir de uma mesma amostra mas, *a priori*, sua aplicação exige a utilização de bombas de amostragem e são apresentadas restrições quanto à estabilidade.
2. Método NIOSH 3700, utilizado para determinação da concentração de benzeno, estabelece a forma de coleta por meio dos sacos (bags) de amostragem, associados a bombas gravimétricas e a realização de

análise química com cromatógrafo gasoso portátil por detector de fotoionização, com garantia de estabilidade da amostra inferior a quatro horas (NIOSH, 1994). As desvantagens do referido método são a necessidade da realização da coleta com bombas de amostragem; a baixa estabilidade da amostra, o que implica na exigência de realização da análise química dentro de um intervalo de tempo bastante curto após a coleta; e a restrição do método somente para identificação da concentração de benzeno.

3. Método NIOSH 3800, utilizado para determinação da concentração de gases orgânicos e inorgânicos, que utiliza instrumento portátil de leitura direta e a técnica de espectometria por infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR) para análise (NIOSH, 2003). A desvantagem do referido método está relacionada à exigência de utilização de instrumento portátil de leitura direta, bastante oneroso.
4. Método NIOSH 4000, utilizado para determinação da concentração de tolueno, estabelece a coleta com amostradores passivos (carvão ativado) e a análise química por meio de cromatografia gasosa com detector por ionização de chama (NIOSH, 1994). Muito embora o método permita a utilização dos amostradores passivos, a desvantagem está relacionada à restrição do método somente para determinação de concentrações de tolueno.
5. Método OSHA 111, utilizado para determinação da concentração de tolueno, estabelece duas possibilidades de coleta: a primeira utilizando tubos adsorventes de carvão ativado associados a bomba de amostragem e a segunda utilizando os amostradores passivos modelo 575-002 da fabricante SKC ou modelo 3520 da fabricante 3M. As amostras são analisadas por cromatografia gasosa com detector por ionização de chama (OSHA, 1998). A desvantagem deste método é a mesma do método NIOSH 4000.
6. Método OSHA 1002, utilizado para determinar a concentração de xilenos e etilbenzeno, estabelece dois tipos possíveis de coleta: o primeiro utilizando tubos adsorventes de carvão ativado associados a bomba de amostragem e o segundo utilizando os amostradores passivos modelo 575-002 da fabricante SKC. As amostras são analisadas por

cromatografia gasosa com detector por ionização de chama (OSHA, 1999). A desvantagem da aplicação reside na restrição da utilização do método apenas para determinação da concentração de xileno e etilbenzeno.

7. Método OSHA 1005, utilizado para determinação da concentração de benzeno, estabelece dois tipos de procedimento para coleta: o primeiro utilizando tubos adsorventes de carvão ativado associados a bombas de amostragem e o segundo utilizando os amostradores passivos modelo 575-002 da fabricante SKC ou modelo 3520 da fabricante 3M. As amostras são analisadas por cromatografia gasosa com detector por ionização de chama (OSHA, 2002). A desvantagem da aplicação reside na restrição da utilização do método apenas para determinação da concentração de benzeno.

Sobre a escolha do método de coleta e análise, é necessário atentar ainda a um parâmetro chamado de “limite de quantificação”. Segundo o Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial - INMETRO (2007), o limite de quantificação, também denominado de limite de determinação, é a menor concentração do analito que pode ser determinada com nível aceitável de exatidão e precisão. Em termos simplificados, tal limite se configura como a menor quantidade da substância que se deseja medir e que o método de análise química utilizado pelo laboratório é capaz de mensurar em uma determinada amostra. No âmbito da avaliação da exposição ocupacional, é imprescindível assegurar que os limites de quantificação de cada composto permitidos pelo método de análise adotado pelo laboratório estejam abaixo dos limites de exposição ocupacional utilizados como referência, de modo que seja possível a identificação de concentrações próximas aos limites estabelecidos pelo MTE, NIOSH, OSHA e ACGIH.

7 ESTUDOS PRÉVIOS RELACIONADOS À AVALIAÇÃO DE BTEX

Muito embora existam normas nacionais e internacionais que estabelecem limites de exposição ocupacional ao benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno, é

imprescindível a verificação dos estudos já realizados que avaliaram a concentração dos referidos contaminantes no ar atmosférico e em ambientes de trabalho.

Marques *et al.* (2012) realizaram o monitoramento dos níveis de BTEX em kartódromos fechados e abertos no Rio de Janeiro, sem atividade e com atividade, e compararam os resultados com as concentrações obtidas em grandes avenidas da cidade. As amostras foram coletadas por meio de cartuchos de carvão ativado e bomba de amostragem, posicionados em pontos fixos de cada circuito. Os resultados obtidos constam consolidados na Tabela 14.

Tabela 14 - Comparação da concentração de BTEX ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) no ar atmosférico de diferentes ambientes (B - Benzeno, T - Tolueno, E- Etilbenzeno, m+p-X - m e p-Xileno, o-X - orto-Xileno)

Local	B	T	E	m+p-X	o-X
Kartódromo fechado (em funcionamento)	19,7	41,1	19,4	36,2	6,6
Kartódromo fechado (sem funcionamento)	6,7	17,3	6,9	12,2	2,4
Kartódromo aberto (em funcionamento)	2,0	4,1	2,8	1,7	0,7
Av. Presidente Vargas	9,4	17,0	12,7	27,2	19,2
Volta Redonda	20,3	3,3	ND	0,96	0,18

Fonte: Adaptado de Marques *et al.* (2012)

Amaral *et al.* (2017) realizaram a avaliação de BTEX em postos de combustíveis por meio da utilização de amostradores de carvão ativado conectados a bomba de amostragem, fixados na área de circulação dos frentistas, a 1,5 m de altura. O referido estudo apresentou resultados distintos para a operação normal dos postos, durante o abastecimento dos veículos (Tabela 15) e para o abastecimento dos tanques subterrâneos (Tabela 16).

Tabela 15 - Concentrações de BTEX ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) obtidas durante o abastecimento de veículos (N - número de coletas, A - ponto na área de circulação do posto e D - em um ponto a 200m da circ.)

Postos Avaliados	Posto 1		Posto 2		Posto 3		Posto 4		Posto 5	
Pontos de Medição	A	D	A	D	A	D	A	D	A	D
N	16	4	17	4	4	3	14	4	15	3
Benzeno	6,4	3,5	27,2	1,8	373,7	60,9	452,8	23,6	492,5	75,6
Tolueno	7,5	4,3	97,1	8,5	101,7	14,2	92,3	10,1	110,5	18,1
Etilbenzeno	3,2	1,5	24,4	1,3	32,5	4,3	32,2	3,3	41,8	6
Xilenos	9,1	4,6	72,9	3,1	102,6	10,3	96,1	5,6	132,2	14

Fonte: Adaptado de Amaral *et al.* (2017)

Tabela 16 - Concentrações médias de BTEX ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) obtidas durante o abastecimento de tanques subterrâneos

Postos avaliados	Posto 1		Posto 3			Posto 4	
Amostras	1	2	3	4	5		
Benzeno	19,1	21,9	1244,5	1036,8	991,2		
Tolueno	33,9	15,2	192,3	165,6	264,8		
Etilbenzeno	33,0	12,1	150,6	110,8	252,3		
Xilenos	10,9	2,5	47,9	37,5	95,5		

Fonte: Adaptado de Amaral *et al.* (2017)

Godoi *et al.* (2010) realizaram a medição da concentração de BTEX em áreas públicas da cidade de Curitiba. Os locais avaliados apresentavam níveis de vegetação variáveis (densa, pouco densa e esparsa) e encontravam-se situados a diferentes distâncias das vias de tráfego da cidade. Neste caso foram utilizados amostradores passivos do tipo tubo de difusão, fixados a uma altura de 1,5 m. Os resultados obtidos constam consolidados nas tabelas 17, 18 e 19.

Tabela 17 - Concentrações de BTEX obtidas em três períodos de amostragem de quatro pontos de área com trânsito moderado e vegetação pouco densa

Composto	Concentração ($\mu\text{g m}^{-3}$)											
	Ponto BCI 1			Ponto BCI 2			Ponto BCI 3			Ponto BCI 4		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
benzeno	9,9	5,4	2,6	3,3	3,6	3,2	2,7	3,5	1,8	4,0	3,3	2,8
tolueno	14,2	12,0	9,5	4,6	6,5	5,6	4,4	7,4	3,6	6,7	6,5	5,1
etilbenzeno	2,8	1,9	1,8	1,7	1,6	1,4	1,5	1,5	1,3	2,0	1,8	1,3
m+p-xilenos	3,1	2,0	2,1	1,6	1,5	1,6	1,5	1,4	1,1	2,2	1,7	1,2
o-xileno	2,1	2,0	1,4	1,1	0,9	0,8	1,0	0,9	0,7	1,2	1,7	0,8

Fonte: Godoi *et al.* (2010)

Tabela 18 - Concentrações de BTEX obtidas em três períodos de amostragem de quatro pontos de área com trânsito intenso e vegetação pouco densa

Composto	Concentração ($\mu\text{g m}^{-3}$)											
	Ponto PP 1			Ponto PP 2			Ponto PP 3			Ponto PP 4		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
benzeno	3,3	6,2	5,4	5,5	7,7	4,2	3,7	2,5	3,3	4,4	4,2	4,9
tolueno	4,3	7,7	8,4	5,7	8,4	3,2	3,9	4,7	3,4	4,6	7,9	5,7
etilbenzeno	1,0	1,6	1,4	1,5	1,7	1,3	1,4	1,5	1,4	1,6	1,5	1,4
m+p-xilenos	1,4	1,9	1,5	1,8	2,0	1,4	1,6	1,5	1,6	1,9	1,6	1,5
o-xileno	1,0	1,2	1,0	1,1	1,5	1,1	1,1	0,9	0,9	1,2	1,1	1,0

Fonte: Godoi *et al.* (2010)

Tabela 19 - Concentrações médias obtidas em três localidades distintas

Composto	Concentração média ($\mu\text{g m}^{-3}$)		
	Bosque Capão da Imbuia (BCI)	Passeio Público (PP)	Praça Ouvidor Pardiniho (POP)
Benzeno	3,9	4,6	6,1
Tolueno	7,2	6,5	7,2
Etilbenzeno	1,7	1,4	1,8
m+p-xileno	1,7	1,6	2,2
o-xileno	1,2	1,1	1,5

Fonte: Godoi *et al.* (2010)

No referido estudo, as variações observadas entre as concentrações foram associadas pelos autores à ocorrência de chuva, que reduziriam a concentração de BTEX no ar; à proximidade com as vias de alto tráfego, que elevaria a concentração das referidas substâncias, devido redução da distância em relação às fontes de queima de combustíveis; à direção do vento, responsável por dispersar as referidas emissões; e à densidade da vegetação, uma vez que a elevação da densidade da vegetação estaria relacionada à redução da concentração de BTEX no ambiente.

Godoi *et al.* (2010) também compararam as concentrações obtidas na cidade de Curitiba com as concentrações médias registradas em outros centros urbanos, conforme destacado na Tabela 20.

Tabela 20 - Tabela comparativa de concentrações médias de BTEX em grandes centros urbanos

Cidade	Descrição do local	Composto	Concentração média ($\mu\text{g m}^{-3}$)
São Paulo (Brasil)	centro da cidade, próximo ao trânsito intenso	Benzeno	17
		Tolueno	28
		Etilbenzeno	6,0
		m+p-xileno	19
		o-xileno	6,2
Santiago (Chile)	centro da cidade, próximo ao trânsito intenso	Benzeno	15
		Tolueno	30
		Etilbenzeno	6,5
		m+p-xileno	25
		o-xileno	8,9
Hong Kong (China)	Universidade Politécnica de Hong Kong	Benzeno	4,8
		Tolueno	29
		Etilbenzeno	3,1
		m+p-xileno	3,2
		o-xileno	2,8
La Corunha (Espanha)	avenida de trânsito intenso, com prédios de 8 a 10 andares	Benzeno	3,4
		Tolueno	24
		Etilbenzeno	3,3
		m+p-xileno	5,1
		o-xileno	2,7

Fonte: Adaptado de Godoi *et al.* (2010)

Santos (2015) avaliou a concentração de BTEX na cidade de Salvador, Bahia, utilizando amostradores passivos com carvão ativado, fixados em diferentes

pontos da cidade e comparou as concentrações obtidas com estudos realizados em outros centros urbanos, conforme descrito na Tabela 21.

Tabela 21 - Concentrações de BTEX ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) em centros urbanos

Local	Benzeno	Tolueno	Etilbenzeno	m,p-Xileno	o-Xileno	Referência
Salvador	0,46-3,47	0,49-4,54	0,42-1,72	0,25-1,79	0,39-1,07	Este trabalho
Curitiba	1,8-9,9	3,2-14,2	1,0-2,8	1,1-3,1	0,7-2,1	Godoi <i>et al.</i> (2010)
Rio de Janeiro	4,8-40,7	9,1-37,5	5,9-13,3	7,5-33,1	5,1-12,3	Corrêa; Arbilla (2007)
Porto Alegre	0,8-9,5	1,1-26,7	0,3-4,6	0,7-8,3	0,3-3,2	Grosjean <i>et al.</i> (1999)
Esp. Santo Pinhal-SP	2,0	12,3	5,3	4,1	10,3	Rodrigues <i>et al.</i> (2007)
São Paulo	5,0-29,6	10,6-74,7	2,1-10,5	6,7-38,2	2,2-11,1	Gee; Sollars (1998)
São Paulo	1,5-2,7	12,1-22,2	3,2-5,2	6,3-9,7	2,1-3,6	Albuquerque (2007)
Campinas-SP	1,2-4,2	3,2-14,0	0,6-2,9	0,6-3,3	0,4-1,3	Ueda (2010)
França	0,9-1,5	0,8-12,4	0,6-3,4	0,3-2,7	0,2-1,5	Roukos <i>et al.</i> (2009)
Hong Kong	0,3-5,1	1,1-64,3	0,2-3,2	2,3-4,0	1,6-3,1	Ho <i>et al.</i> (2004)
China	2,1-3,3	5,6-8,6	2,1-3,3	3,3-4,6	1,7-1,9	Zhang <i>et al.</i> (2012)
Nova Iorque	1,0-2,5	9,9-13,4	1,6-2,5	6,7-9,3	2,5-3,4	Kalenge <i>et al.</i> (2013)
Polônia	0,1-2,4	0,5-1,9	0,1-0,6	0,4-2,1	0,2-1,3	Maré <i>et al.</i> (2014)

Fonte: Santos (2015)

Observa-se que a maior parte dos estudos citados não estão direcionados à avaliação de exposição ocupacional e encontram-se restritos à determinação da concentração de BTEX em centros urbanos utilizando a metodologia de coleta de ponto fixo. O diferencial apresentado por esta pesquisa reside no propósito que ela possui de identificar as concentrações de contaminantes específicos, de forma individualizada, em locais de trabalho nos quais são realizadas atividades de pavimentação asfáltica. Outra particularidade deste trabalho é a adoção da metodologia de coleta pessoal, com amostradores fixados nos próprios trabalhadores, próximo à sua zona respiratória, com o objetivo de representar de forma mais fidedigna a exposição vivenciada pela equipe. Desta forma, a realização da avaliação das concentrações de BTEX, que são compostos potencialmente prejudiciais à saúde, presentes nas atividades de pavimentação asfáltica, utilizando a coleta pessoal com amostragem passiva, representa um formato de análise quantitativa da exposição ocupacional ainda não observado em publicações nacionais.

8 METODOLOGIA ADOTADA

Para a condução dos procedimentos de coleta nos locais de trabalho deve-se verificar inicialmente se existe a necessidade do agrupamento dos profissionais envolvidos nas atividades de pavimentação asfáltica em Grupos Homogêneos de Exposição (GHEs). Muito embora a NR 22 - Segurança e Saúde Ocupacional na Mineração, elaborada pelo MTE, trate especificamente de segurança e saúde ocupacional na mineração, a norma apresenta o conceito de GHE, conforme descrito a seguir:

22.17.1.1 Grupo Homogêneo de Exposição corresponde a um grupo de trabalhadores, que experimentam exposição semelhante, de forma que o resultado fornecido pela avaliação da exposição de qualquer trabalhador do grupo seja representativo da exposição do restante dos trabalhadores do mesmo grupo (BRASIL, 2016)

Saliba & Fantazzini (2010) reforçam o conceito definido na NR 22 ao afirmar que o benefício da utilização dos GHEs é a formulação de amostras que representarão os parâmetros de exposição dos demais integrantes do grupo.

Para o propósito desta pesquisa, buscou-se identificar quais profissionais, em decorrência da natureza da sua atividade e dos postos de trabalho, estariam submetidos a cenários semelhantes de exposição ocupacional. Foram excluídos da amostra o encarregado de pavimentação, pelo fato de atuar apenas na coordenação e apoio logístico das atividades e na validação dos serviços executados; os motoristas de caminhão 3/4, os motoristas de caminhão basculante, os motoristas de caminhão espargidor e os operadores de usina, pelo fato de laborarem em ambiente climatizado, com contato restrito e eventual com as emissões oriundas do processo de produção e aplicação da mistura usinada. Em relação às funções remanescentes, que são o operador de vibroacabadora, o mesista da vibroacabadora, o operador de rolo compactador, os serventes e os rasteleiros, não há necessidade da utilização de mais de um GHE, visto que todos os profissionais mencionados laboram bem próximos da aplicação da mistura usinada a quente e vivenciam exposição similar.

Em relação à coleta, optou-se pela realização de amostras pessoais, com o objetivo de avaliar a presença dos contaminantes na zona respiratória dos trabalhadores escolhidos dentre as funções acima mencionadas, de forma que os resultados pudessem demonstrar fidedignamente a exposição específica do grupo. Destaca-se que não seria recomendada a utilização de coleta de ponto fixo para o

caso em análise, uma vez que as frentes de trabalho são móveis e, por esse motivo, o referido modelo de coleta não estaria apto a representar a real exposição da equipe.

Em relação à quantidade de amostras, utilizou-se a recomendação descrita na Instrução Normativa 01/1995 da SSST, que estabelece um quantitativo mínimo de cinco medições para cada grupo analisado. Conforme já detalhado previamente, muita embora a IN 01/1995 mencionada trate especificamente da análise de benzeno, não há qualquer justificativa técnica ou estatística que restrinja a utilização de suas orientações nos procedimentos relacionados à avaliação de xileno, tolueno e etilbenzeno.

Em relação ao modo de coleta das amostras, utilizou-se o critério estabelecido por Corrêa & Saliba (2014), que leva em consideração a quantidade de amostras necessárias, o período de medição de cada amostra, o custo dos equipamentos envolvidos e a logística da coleta e da análise laboratorial. As seguintes premissas serviram como base para fundamentar a escolha:

1. Os tubos colorímetros são específicos por tipo de contaminante e apresentam percentuais de erro bastante elevados nas medições, gerando uma considerável imprecisão nas informações obtidas.
2. Os detectores eletrônicos são os instrumentos mais caros dentre os analisados e o elevado custo para aquisição inviabiliza sua utilização.
3. A amostragem ativa exige um procedimento mais detalhado e delicado de coleta, que é incompatível com a natureza da atividade analisada.
4. Os amostradores passivos são instrumentos de uso simples, de custo mediano, que não exigem a utilização de qualquer outro equipamento para garantir o seu funcionamento, que não comprometem ou influenciam a realização das atividades de cada trabalhador, e que permitem, desde que sejam disponibilizadas novas unidades do dosímetro, a coleta em paralelo de mais de uma amostra.

Desta forma, por conta da facilidade de utilização, do baixo custo e da satisfatória precisão e exatidão apresentados, verificou-se que a amostragem com dosímetros passivos se configurou como o formato de coleta mais adequado para esta pesquisa.

Em relação à escolha do fabricante do amostrador passivo para medição de compostos orgânicos voláteis, identificou-se no mercado nacional a presença de dois grandes fornecedores, a 3M e a SKC. Optou-se inicialmente pela SKC, em

decorrência de sua notória experiência na área de instrumentação em higiene ocupacional, associada à existência de distribuidor nacional autorizado da marca, com disponibilidade para pronta entrega da quantidade de amostradores necessária a realização da pesquisa.

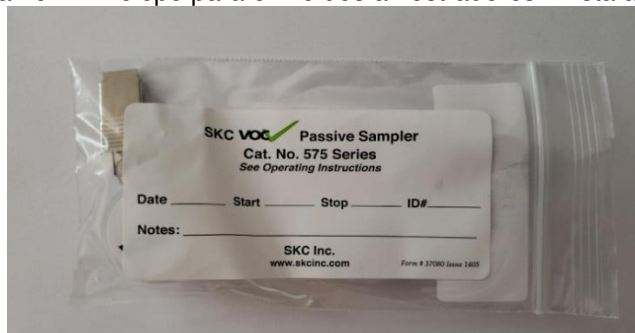
A SKC Inc, por meio do seu manual “*SKC 575 Series Passive Sampler Rate/Selection Guide*” destaca que, para amostragem passiva de BTEX em ambientes de trabalho, são recomendados os modelos SKC 575-001 e SKC 575-002. Os referidos dosímetros permitem que, a partir de uma única coleta, com o mesmo amostrador, e desde que se utilize as técnicas de análise química adequadas, seja possível a determinação das concentrações de benzeno, tolueno, xileno e etilbenzeno presentes no local de trabalho, o que proporciona uma maior dinâmica ao processo de medição.

A diferença entre os modelos mencionados reside basicamente no tipo de elemento adsorvente do amostrador e na quantidade desse elemento. Conforme descrito no manual de instruções de operação do amostradores publicado pela fabricante, intitulado “*SKC 575 Series Passive Samplers for Organic Vapors*”, o dosímetro passivo SKC 575-001 possui 350 mg de carvão ativado como elemento adsorvente, já o SKC 575-002 possui 500 mg de *Anasorb 747*. A nomenclatura *Anasorb* refere-se à elementos adsorventes proprietários da referida fabricante e, segundo a SKC Ltd. (2018), o *Anasorb 747* constitui-se um carbono sintético com baixo teor de cinzas, indicado para amostragem de compostos orgânicos polares e não polares. As demais propriedades dos amostradores são praticamente as mesmas, uma vez que os instrumentos apresentam acabamento de nylon, vida útil de dois anos, são validados para amostras de exposição ocupacional de 15 minutos e 8 horas, podem ser armazenados em temperatura ambiente e são analisados através de dessorção de solventes e cromatografia gasosa com detecção por ionização de chama.

A escolha do modelo do amostrador foi fundamentada exclusivamente na quantidade disponibilizada de elemento adsorvente. O modelo 575-002 apresenta 500 mg e o modelo 575-001 somente 350 mg. A maior quantidade de adsorvente no amostrador permite a análise de concentrações maiores dos contaminantes. No caso em análise, como não houve acesso prévio a estimativas sobre a ordem de grandeza das concentrações que possivelmente seriam encontradas *in loco*, optou-se por utilizar o amostrador de maior capacidade, que é o modelo SKC 575-002.

Os amostradores foram disponibilizados pelo fabricante em embalagens distintas, conforme evidenciado nas figuras 25, 26 e 27. Em consulta ao manual de instruções dos equipamentos, identificou-se orientação no sentido de que as mesmas não deveriam ser descartadas, visto que, após a coleta, os dosímetros passivos deveriam encaminhados ao laboratório dentro das referidas embalagens.

Figura 25 - Envelope para envio dos amostradores - vista anterior



Fonte: Autor (2018)

Figura 26 - Envelope para envio dos amostradores - vista posterior



Fonte: Autor (2018)

Figura 27 - Vista anterior com tampa, vista posterior, vista lateral e vista anterior sem tampa do amostrador SKC 575-002



Fonte: Autor (2018)

As embalagens utilizadas possuem uma etiqueta com campos específicos que devem ser preenchidos com informações referentes a cada coleta, que são:

1. Data da coleta da amostra (*Date*);

2. Horário de início da coleta (*Start*);
3. Horário de encerramento da coleta (*Stop*);
4. Número de identificação do amostrador (*ID#*);
5. Observações sobre a amostra (*Notes*)

O preenchimento das referidas informações é indispensável para que seja minimizada a possibilidade da ocorrência de falhas durante a segregação dos resultados no momento da análise laboratorial.

O procedimento de coleta foi agendado inicialmente para o mês de outubro do ano de 2018. A coleta foi programada para durar a integralidade da jornada de trabalho de 8 horas, excluído o intervalo de almoço. Desta forma, estimou-se o início da medição para 08:00 horas, com intervalo para almoço das 12:30 horas às 13:30 horas e encerrando-se às 18:00 horas. Cada um dos cinco funcionários incluídos na amostra recebeu um dosímetro específico, que foi fixado ao seu EPI, próximo à zona respiratória. A escolha dos representantes incluídos na amostra de cada GHE foi realizada de forma aleatória dentro da equipe.

O *modus operandi* adotado para a utilização dos amostradores seguiu as orientações estabelecidas pelo fabricante, conforme descrito na Figura 28, obedecendo a seguinte sequência:

1. Retirada do amostrador da embalagem selada;
2. Preenchimento dos campos "*Date*", "*Start*", "*ID*" da embalagem.
3. Preenchimento do campo "*Notes*" com a função do funcionário que receberá aquele amostrador;
4. Remoção da capa frontal do amostrador;
5. Fixação do amostrador na vestimenta do funcionário analisado, próximo à zona respiratória, com sua face porosa, recém-descoberta, voltada para frente.
6. Desafixação do amostrador e colocação de sua tampa durante o intervalo de almoço.
7. Fixação do amostrador e retirada de sua tampa frontal após o intervalo de almoço.
8. Desafixação do amostrador, ao término da jornada de trabalho e devolução da tampa ao amostrador, para vedá-lo
9. Devolução do amostrador à embalagem original, preenchendo o campo "*Stop*".

Figura 28 - Sequência de passos para utilização do amostrador passivo



Fonte: Adaptado de SKC Inc. *SKC 575 Series Passive Samplers for Organic Vapors: Operating Instructions*. Disponível em: <https://www.skcinco.com/catalog/pdf/instructions/37088.pdf>

A retirada dos amostradores durante o intervalo de almoço buscou evitar qualquer contato indevido do equipamento com substâncias que pudessem comprometer a análise.

Em relação ao procedimento de coleta, Kasper *et al.* (2015) mencionam a necessidade de utilização dos chamados “brancos de campo”, que são amostradores extras, cuja função é verificar se houve contaminação da amostra durante sua coleta e processamento. A NIOSH, através do método 1501, que trata da análise de hidrocarbonetos aromáticos, recomenda que o número de brancos de campo seja equivalente a 10% do total de amostras.

O laboratório de análises químicas Analytics Brasil (2018) destaca a importância dos brancos de campo na compreensão dos resultados de cada medição ao afirmar que tais amostradores funcionam como indicadores de contaminação, que registrarão um possível comprometimento das amostras durante a coleta, transporte e manuseio. A constatação de contaminação no branco de campo significa possivelmente a contaminação das demais amostras, o que implicaria na necessidade de descartá-las e realizar a repetição do procedimento de coleta, sob pena de tê-las feito em condições inadequadas. No caso em análise, seguindo-se a orientação contida no método 1501 da NIOSH, utilizou-se apenas 1 branco de campo, uma vez que a pesquisa englobava 5 amostras.

O branco de campo foi utilizado nos momentos de fixação e remoção dos amostradores de cada trabalhador, que ocorreram no início e ao término da jornada. Antes de iniciar a fixação dos dosímetros passivos nos participantes da amostra, foi retirada a tampa frontal do amostrador que estava sendo utilizado como branco de

campo, o qual se encontrava fixado ao EPI do pesquisador. Na sequência, foram colocados os dosímetros nos trabalhadores incluídos na amostra e, ao finalizar tal procedimento, o branco de campo foi novamente vedado por meio da devolução de sua tampa frontal.

Ao final da jornada, no momento de recolhimento dos dosímetros, foi realizado procedimento similar. Antes da remoção e vedação dos amostradores dos trabalhadores, foi retirada a tampa do branco de campo e fez-se a remoção e vedação dos dosímetros que foram utilizados na amostra. Após concluído o referido procedimento, o branco de campo foi novamente vedado, identificado e separado para análise.

Os 5 amostradores foram distribuídos da seguinte forma:

- 1) 2 x Rasteleiros
- 2) 1 x Ajudante
- 3) 1 x Operador de Vibroacabadora
- 4) 1 x Operador de Rolo Compactador

Os detalhes relacionados à coleta constam consolidados na Tabela 22.

Tabela 22 - Identificação dos dados dos amostradores

Nº Amostra	ID	Função	Data	Início	Término
Amostra 01	0237	Operador de Vibroacabadora	26/10/18	11:00 hrs	20:00 hrs
Amostra 02	1849	Rasteleiro	26/10/18	11:00 hrs	20:00 hrs
Amostra 03	4374	Rasteleiro	26/10/18	11:00 hrs	20:00 hrs
Amostra 04	0147	Operador de Rolo Compactador	26/10/18	11:00 hrs	20:00 hrs
Amostra 05	0388	Ajudante	26/10/18	11:00 hrs	20:00 hrs
Amostra 06	0002	Branco de Campo	26/10/18	-	-

Fonte: Autor (2018)

Observa-se que o horário de início da coleta foi diferente do que havia sido programado originalmente. Tal alteração está associada ao fato de que as medições somente foram iniciadas no momento em que foi disponibilizado o primeiro carregamento de mistura usinada a quente nas frentes de trabalho. O encerramento da medição aconteceu juntamente com a finalização da aplicação do último carregamento de AAUQ do dia, que coincidiu com a duração programada para a coleta.

Destaca-se ainda que os métodos padronizados elaborados pela OSHA e NIOSH também fornecem orientações básicas em relação aos procedimentos de coleta de amostras em ambientes que possivelmente contem BTEX. No entanto, as

referidas orientações não acrescentam novas informações em relação ao que já consta detalhado nos manuais de instrução disponibilizados pelo fabricante dos amostradores. No próprio texto dos métodos mencionados pede-se que, durante o processo de medição *in loco* utilizando amostragem passiva, sejam obedecidas as orientações fornecidas pelo fabricante dos dosímetros.

Em relação ao procedimento de análise química para identificação das concentrações de BTEX contidas em cada amostra, optou-se por realizá-las através de laboratórios familiarizados com análises relacionadas à exposição ocupacional e que atuassem especificamente nesse segmento.

Ao todo foram encaminhados seis amostradores para análise, sendo cinco amostras e um branco de campo. Não foi necessária a adoção de medidas especiais relacionadas à manutenção da estabilidade da amostra, como refrigeração. Os amostradores foram devolvidos a sua embalagem original, com a devida identificação, conforme destacado na Figura 29, lacrados em caixa de papelão e enviados para análise via transporte aéreo, três dias após a coleta, acompanhado da Ficha de Cadeia de Custódia devidamente preenchida, conforme descrito no Anexo B.

Figura 29 - Amostradores com identificação



Fonte: Autor (2018)

Deve-se destacar que é imprescindível a realização do alinhamento correto entre o procedimento de coleta e o procedimento de análise química das amostras para que seja possível a obtenção de informações fidedignas a partir das medições realizadas nos locais de trabalho. Tal associação é claramente descrita nos métodos analíticos elaborados pela NIOSH e OSHA. Um mesmo método detalha como deve ser coletada a amostra e como deve ser processada a análise química dessa amostra. Os próprios manuais de instrução dos dosímetros, conforme já mencionado anteriormente, também trazem informações análogas, indicando as condições necessárias à realização da coleta, assim como o procedimento de análise aplicáveis

para extrair das amostras os dados referentes às concentrações dos contaminantes presentes nos locais de trabalho.

A SKC Inc, por meio dos manuais de operação da linha de amostradores 575, recomenda a utilização dos dosímetros passivos modelos SKC-575-001 e SKC-575-002 para amostragem de BTEX. No que diz respeito à extração do contaminante adsorvido, a fabricante estabelece como técnica recomendada a utilização de cromatografia gasosa com detector por ionização de chama.

Dentre os métodos padronizados pela NIOSH e OSHA, observou-se inicialmente que apenas os métodos descritos na Tabela 23 estabeleciam a previsão explícita de utilização de amostradores passivos para coleta de benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno.

Tabela 23 - Métodos NIOSH/OSHA para amostragem passiva de BTEX

MÉTODO	SUBSTÂNCIA
NIOSH 4000	Tolueno
OSHA 111	
OSHA 1002	Xileno e Etilbenzeno
OSHA 1005	Benzeno

Fonte: Autor (2018)

Destaca-se que, em todos os métodos mencionados, a técnica de análise química adotada é a cromatografia gasosa com detecção por ionização de chama. Identificou-se então que, *a priori*, não existia um método único que englobasse a análise simultânea de benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno.

Diante do referido impasse e buscando adotar a solução que apresentasse a melhor relação custo-benefício para a pesquisa, contatou-se laboratórios especializados em análises químicas de amostras oriundas de ambientes laborais, com o intuito de confirmar o método recomendado para avaliação de BTEX a partir de amostradores passivos. Em resposta, foi mencionado por três laboratórios distintos que o método utilizado para análise de benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno a partir de um mesmo dosímetro passivo era uma adaptação do método NIOSH 1501, o qual fora inicialmente designado para análise de hidrocarbonetos aromáticos a partir de tubos adsorventes de carvão ativado, por meio de CG-DIC.

Para garantir a confiabilidade dos dados fornecidos em laboratório, a fabricante do amostrador orienta através do seu manual de instruções que, após a medição, os dosímetros devem ser enviados a laboratórios que tenham sido acreditados pela *American Industrial Hygiene Association* (AIHA). O processo de

acreditação busca garantir que os procedimentos adotados pelo laboratório estejam adequados aos requisitos pré-estabelecidos pela NIOSH e OSHA. Destaca-se que, conforme descrito no Anexo C, o laboratório para o qual foram destinadas as amostras possui acreditação da AIHA na área de Higiene Industrial e que, no escopo da acreditação, consta incluído uma variação do método 1501 da NIOSH utilizando amostradores passivos.

9. RESULTADOS OBTIDOS E ANÁLISE DOS DADOS

A análise dos amostradores foi consolidada por meio de documento emitido pelo laboratório acreditado, apresentado como “Relatório Final”. Cada amostrador foi vinculado a um relatório específico, no qual constaram identificadas, dentre outras informações, a numeração do amostrador, o tempo de amostragem (em minutos), o analito e, para cada analito, o volume medido (em litros), o limite de quantificação em massa (em µg), o total de massa identificada (em µg) e a concentração identificada (em mg/m³ e ppm). Os relatórios estão descritos no Anexo D, mas constam resumidos nas Tabelas 24 e 25.

Tabela 24 - Concentrações de BTEX nos amostradores 1849, 4374, 0388, 0147, 0237

Nº dos Amostradores	1849, 4374, 0388, 0147 e 0237			Data da Amostra		26/10/18
				Tempo de Amostragem		480 min / 8 hr
Analito	Data da Análise	Volume (L)	Limite de Quantificação (µg)	Total (µg)	Concentração (mg/m³)	Concentração (ppm)
Benzeno	13/11/18	8,21	2	< 2	< 0,2437	< 0,0763
Etilbenzeno	13/11/18	6,64	2	< 2	< 0,301	< 0,0693
Tolueno	13/11/18	7,15	2	< 2	< 0,2799	< 0,0743
Xileno	13/11/18	6,07	6	< 6	< 0,99	< 0,228

Fonte: Adaptado de Laudo Analytics Brasil (2018) – Anexo D

Tabela 25 - Concentração do BTEX no amostrador 0002 (branco de campo)

Nº dos Amostradores	002 (branco de campo)			Data da Amostra		26/10/18
				Tempo de Amostragem		0 hr
Analito	Data da Análise	Volume (L)	Limite de Quantificação (µg)	Total (µg)	Concentração (mg/m³)	Concentração (ppm)
Benzeno	13/11/18	0	2	< 2	-	-
Etilbenzeno	13/11/18	0	2	< 2	-	-
Tolueno	13/11/18	0	2	< 2	-	-
Xileno	13/11/18	0	6	< 6	-	-

Fonte: Adaptado de Laudo Analytics Brasil (2018)

A Tabela 25, que trata do amostrador passivo que foi utilizado como branco de campo, não apresentou qualquer evidência de contaminação das amostras durante os procedimentos de coleta. Ainda que se trate de um branco de campo, o referido dosímetro passou pelo mesmo procedimento de análise ao qual foram submetidos os demais amostradores. Tanto o volume como as concentrações constam zerados, uma vez que, na prática, não houve volume significativo na amostra.

Destaca-se que o método de análise utilizado apresenta limites de quantificação específicos em termos de massa do analito. Observa-se na Tabela 24 que o limite de quantificação suportado pelo laboratório é de 2 µg para benzeno, etilbenzeno e tolueno e de 6 µg para xilenos. Tais limites estão diretamente associados ao método de análise adotado e aos equipamentos que foram utilizados. Em relação aos volumes atribuídos a cada amostra, é preciso destacar que são características que devem ser conhecidas para que seja possível a determinação da concentração dos contaminantes nos ambientes de trabalho. A utilização de valores distintos de volume para cada contaminante avaliado está relacionada às diferentes taxas de vazão de ar estipuladas pelo fabricante, as quais são oriundas do fato do amostrador apresentar capacidades de adsorção distintas para cada substância.

Para realizar o cálculo do volume da amostra nos experimentos envolvendo amostragem passiva, é imprescindível conhecer a taxa de vazão de ar que fora estimada para o dosímetro utilizado.

A taxa de vazão ("*Sampling Rate*") é fornecida pelo fabricante do amostrador. Para o caso do dosímetro passivo SKC 575-002 utilizado nesta pesquisa, a SKC Inc disponibiliza os referidos parâmetros por meio de documento específico, chamado de *SKC 575 Series Passive Sampler Rate/Selection Guide*.

O volume das amostras é obtido através do produto entre o tempo de duração da coleta e a taxa de vazão do amostrador.

A taxa de vazão do amostrador é fornecida pela SKC em ml/min e, por conta disto, o tempo de duração da coleta deve ser obtido em minutos. Neste caso, como se utilizou uma referência a amostragem da jornada integral de trabalho, que é de 8 horas, tem-se um total de 480 minutos como tempo de coleta. Ao multiplicar-se 480 pelas taxas de vazão estabelecidas pelo fabricante para cada contaminante, obteve-se os volumes das amostras em mililitros. Destaca-se que os volumes obtidos, quando transformados em litros (dividindo o valor por mil), condizem com aqueles

apresentados nos laudos do laboratório de análises químicas, na coluna “Volume”, conforme descrito na Tabelas 24 e no Anexo D. As taxas de vazão utilizada assim como os volumes obtidos constam consolidados na Tabela 30.

Tabela 26 - Volume das amostras por contaminante

SUBSTÂNCIA	TAXA VAZÃO (ml/min)	DURAÇÃO (min)	VOLUME (L)
Benzeno	17,1	480	8,21
Tolueno	14,9	480	7,15
Etilbenzeno	13,83	480	6,64
Xilenos	12,65	480	6,07

Fonte: Adaptado de SKC Inc.

A determinação da concentração dos contaminantes na amostra é calculada pela divisão da massa obtida de cada contaminante pelo volume definido com base nos parâmetros de vazão informados pelo fabricante. No caso em análise, observa-se que o laudo emitido pelo laboratório apresentou, nas colunas de “Total” (em massa) e “Concentração” (em mg/m³ e ppm) o sinal “menor que” (<). O referido sinal, quando utilizado em relatórios de análises químicas, indica que as concentrações de contaminantes que possivelmente estão presentes nos locais onde foram coletadas as amostras estão abaixo dos limites de quantificação suportados pelo método e pelos equipamentos do laboratório. Desta forma, pode-se concluir que, para todas as amostras, o valor total de massa de benzeno obtido nos locais de trabalho durante as 8 horas de coleta está abaixo de 2 µg, o total de tolueno está abaixo de 2 µg, o total de etilbenzeno está abaixo de 2 µg e o total de xilenos está abaixo de 6 µg. Ao se dividir o limite de quantificação em termos de massa pelo volume da amostra, obtêm-se o limite de quantificação em termos de concentração em mg/m³, conforme destacado na Tabela 27.

Tabela 27 - Detalhamento do cálculo da concentração de referência dos contaminantes

SUBSTÂNCIA	VOLUME (L)	VOLUME (m ³)	MASSA (µg)	MASSA (mg)	CONCENTRAÇÃO (mg/m ³)
Benzeno	8,21	0,00821	< 2	< 0,002	< 0,2436
Etilbenzeno	6,64	0,00664	< 2	< 0,002	< 0,301
Tolueno	7,15	0,00715	< 2	< 0,002	< 0,2797
Xilenos	6,07	0,00607	< 6	< 0,006	< 0,99

Fonte: Adaptado de Laudo Analytics Brasil (2018)

Para realizar a conversão da concentração de mg/m³ para ppm, é necessário conhecer a massa molar de cada substância e aplicar a fórmula destacada abaixo:

$$ppm = \frac{mg/m^3 * 24,45}{\text{peso molecular da substância em gramas}}$$

Através da aplicação da referida fórmula, obtêm-se as concentrações destacadas na Tabela 28, que condizem com aquelas apresentadas no relatório de análise química dos amostradores.

Tabela 28 - Conversão de mg/m³ para ppm

SUBSTÂNCIA	CONCENTRAÇÃO (mg/m³)	MASSA MOLAR (g/mol)	CONCENTRAÇÃO (ppm)
Benzeno	< 0,2436	78,11	< 0,0762
Etilbenzeno	< 0,301	106,17	< 0,0694
Tolueno	< 0,2797	92,14	< 0,0742
Xileno	< 0,99	106,16	< 0,228

Fonte: Autor (2018)

Com base na análise do laudo apresentado pelo laboratório, pode-se observar que, para todas as cinco amostras coletadas nas frentes de serviço de pavimentação asfáltica, não foram detectadas concentrações de benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno em valores acima dos limites de quantificação suportados pelo laboratório. De posse dessa informação e com o objetivo de assegurar o propósito desta pesquisa é necessário esclarecer se os limites de quantificação disponibilizados pelo laboratório estão abaixo dos menores limites de exposição ocupacional destacados na Tabela 13. A Tabela 29 apresenta uma comparação entre os limites de exposição ocupacional definidos como referência para BTEX e os limite de quantificação de cada um dos compostos.

Tabela 29 - Comparativo entre limites de exposição e limites de quantificação

SUBST.	LIMITES DE EXPOSIÇÃO		LIMITES DE QUANTIFICAÇÃO	
	ppm	mg/m³	ppm	mg/m³
Benzeno	0,088	0,281	0,0762	0,2436
Tolueno	8,8	33,163	0,0742	0,2797
Etilbenzeno	4,4	19,106	0,0694	0,301
Xileno	78	340	0,228	0,99

Fonte: Autor (2018)

Por meio da Tabela 29 restou evidenciado que os limites de quantificação disponibilizados pelo método de análise e pelos equipamentos utilizados pelo laboratório são inferiores aos limites de exposição mais conservadores dentre os publicados pela NIOSH, OSHA, MTE e ACGIH, ajustados para uma jornada de trabalho de 44 horas semanais. A garantia de que os limites de quantificação estejam em patamares inferiores aos limites de exposição permite que o método de análise

química esteja apto a identificar concentrações nos locais de trabalho que fiquem próximas aos limites de exposição, verificando então se as referidas concentrações observadas in loco se enquadram em níveis que não são prejudiciais à saúde do trabalhador.

No caso em análise, observa-se que os limites de quantificação informados pelo laboratório, em termos de concentração, estão abaixo dos respectivos limites de exposição definidos para cada substância. O referido dado significa que o método de análise utilizado estava apto a identificar concentrações nos locais de trabalho que estivessem acima dos limites de exposição.

No momento em que o relatório de análises químicas aponta que as concentrações de benzeno, tolueno e etilbenzeno coletadas nos amostradores estão abaixo dos limites de quantificação e que os limites de quantificação estão abaixo dos respectivos limites de exposição ocupacional, pode-se concluir que, a exposição a benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno vivenciada pelos trabalhadores nas frentes de trabalho de pavimentação asfáltica com misturas usinadas a quente, nas quais foram coletadas as amostras, estão abaixo dos referenciais mais conservadores de exposição ocupacional para uma jornada de trabalho de 44 horas semanais. Embora as concentrações identificadas nos locais de trabalho se encontrem abaixo dos limites de exposição ocupacional adotados como referência, persiste a necessidade e a obrigatoriedade do empregador fornecer os EPIs adequados para a execução de serviços de pavimentação asfáltica, uma vez que existem outras emissões de agentes físicos e químicos, associadas à atividade mencionada, as quais, caso não amenizadas por meio da utilização dos equipamentos de proteção individual, podem ser prejudiciais à saúde dos trabalhadores.

Destaca-se ainda que as pesquisas mencionadas no item 7 deste trabalho apresentam resultados de várias avaliações de concentração de BTEX em diferentes cenários de análise, todas registradas em $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Observa-se que os limites de exposição ocupacional mencionados nas tabelas anteriores foram calculados em mg/m^3 e, portanto, para que seja possível realizar uma análise correta das concentrações destacadas nas referidas pesquisas, faz-se necessária a conversão das unidades nelas calculadas de $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para mg/m^3 . A Tabela 30 destaca as maiores concentrações de cada contaminante, separadas por pesquisa, em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e em mg/m^3 , os limites de exposição utilizados como referência para este trabalho e os limites

quantificação do laboratório. Os valores destacados em verde são as concentrações em mg/m³.

Tabela 30 - Comparativo de estudos nacionais com os limites de exposição

SUBSTÂNCIA	Marques et al. (2012)		Amaral et al. (2017)		Godoi et al. (2010)		Godoi et al. (2010)		Santos (2015)		Limite de Exposição	Limite de Quantific.
	Kartódromos e Centros Urbanos		Postos de Combustível		Áreas Públicas Curitiba-PR		Centros Urbanos Várias Cidades		Centros Urbanos Várias Cidades			
	µg/m³	mg/m³	µg/m³	mg/m³	µg/m³	mg/m³	µg/m³	mg/m³	µg/m³	mg/m³		
Benzeno	20,3	0,0203	492,5	0,4925	9,9	0,0099	17	0,017	40,7	0,0407	0,281	0,2436
Tolueno	41,1	0,0411	110,5	0,1105	14,2	0,0142	30	0,03	74,7	0,0747	33,163	0,2797
Etilbenzeno	19,4	0,0194	41,8	0,0418	2,8	0,0028	6,5	0,0065	13,3	0,0133	19,106	0,301
Xileno	36,2	0,0362	132,2	0,1322	3,1	0,0031	25	0,025	38,2	0,0382	340	0,99

Fonte: Autor (2018)

Ao se analisar os valores de concentração apresentados em cada publicação, observa-se que, com exceção do benzeno em postos de combustíveis, todas as demais avaliações obtiveram concentrações abaixo dos limites de exposição ocupacional utilizados como referência neste trabalho e também abaixo dos limites de quantificação suportados pelo laboratório que analisou os amostradores passivos utilizados nesta pesquisa.

10 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A atividade de pavimentação asfáltica envolve a utilização de insumos de composição complexa. A natureza desses insumos associada às particularidades do processo de aplicação das misturas usinadas a quente expõe os profissionais que atuam nesse segmento a agentes físicos e químicos, os quais podem contribuir para a geração de um ambiente de trabalho insalubre.

A análise da composição dos insumos mencionados evidencia a presença de compostos que, a depender da concentração em que são encontrados nas frentes de serviço, podem ocasionar sérios problemas à saúde dos trabalhadores.

A utilização de referenciais conservadores em termos de limites de exposição ocupacional, publicados por instituições renomadas e adaptados à jornada de trabalho legalmente prevista no Brasil, consolida-se como um critério que se mostrou satisfatório para avaliar se as concentrações observadas *in loco* podem ocasionar prejuízos à saúde da equipe envolvida na execução dos serviços.

Em relação aos estudos desenvolvidos previamente sobre a avaliação de BTEX em ambientes de trabalho e em grandes centros urbanos, observou-se que os valores normalmente obtidos estão abaixo dos limites de exposição adotados como referência para esta pesquisa.

Sobre o procedimento de coleta, os amostradores passivos se revelaram como uma ferramenta bastante simples e estável para a realização da avaliação de exposição ocupacional a benzeno, tolueno etilbenzeno e xileno nas frentes de trabalho, apresentando vantagens em termos de custo e praticidade.

A utilização de cinco amostras para a análise, coletadas a partir de dosímetros fixados aos EPIs de trabalhadores que laboravam diretamente com a aplicação da massa, próximo a zona respiratória, durante a jornada integral de trabalho, em data na qual houve o fornecimento ininterrupto de massa asfáltica para aplicação, configura um cenário representativo da exposição ocupacional aos agentes químicos avaliados.

Sobre os resultados obtidos, pode-se afirmar que a indicação contida nos relatórios de análises químicas de que as concentrações existentes nos locais de trabalho estariam abaixo dos limites de quantificação suportados pelo método e pelos equipamentos utilizados no laboratório não necessariamente significa que inexistem a presença dos referidos compostos nas emissões oriundas da aplicação do revestimento asfáltico.

Tal resultado demonstra que as concentrações presentes nas frentes de serviço se encontram em patamares abaixo daqueles passíveis de quantificação pelo método de análise utilizado e, conforme demonstrado previamente, estão abaixo dos limites de exposição ocupacional utilizados como referência.

Em decorrência do próprio conceito de limite de exposição ocupacional e com base nos resultados obtidos a partir da análise química dos amostradores, acredita-se que a maioria dos trabalhadores possa estar exposta diariamente às concentrações de BTEX possivelmente presentes nas frentes de trabalho analisadas sem sofrer efeitos adversos à saúde.

Entende-se, portanto, que esta pesquisa descreveu um roteiro consistente para avaliação da exposição ocupacional dos trabalhadores do segmento da pavimentação asfáltica, no entanto, o trabalho se concentrou na coleta por meio de amostragem passiva e em universo amostral restrito. Recomenda-se, portanto, para estudos posteriores, a replicação do mesmo formato de medição utilizado nesta

pesquisa, para avaliação das concentrações de benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno, em cenários de trabalho semelhantes, mas utilizando a amostragem ativa e expandido o universo da amostra, com um intuito de obter maior representatividade e verificar se há alguma divergência em termos de resultados, caso o formato de coleta seja alterado.

Recomenda-se ainda que seja incluído no escopo de análise os Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos, uma vez que esses compostos também causam extensos prejuízos a saúde e já constam mencionados em outros estudos relacionados à pavimentação asfáltica.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, Édler Lins de. **Compostos Orgânicos Voláteis na Atmosfera Urbana da Região Metropolitana de São Paulo**. 2007. 499f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas-SP, 2007.

ALDIGUERI, D. R.; BERNUCCI, L. B. **Desempenho de misturas de areia asfalto usinadas a quente com o uso de ligantes mais consistentes**. Em: Revista Transportes. Vol. 10, n.2. 2002. Disponível em: <http://www.revistatransportes.org.br/anpet/index>. Acesso em: 04 set. 18.

AMARAL, Isabele Campos Costa; CARVALHO, Leandro Vargas Barreto de; PIMENTEL, Joyce Neri da Silva; PEREIRA, Angélica Cardoso; VIEIRA, Jucilene Aparecida; CASTRO, Vinício Soares de; BORGES, Renato Marçullo; ALVES, Sérgio Rabello; NOGUEIRA, Simone Mitri; TABALIPA, Marianne de Medeiros; OTERO, Ubirani Barros; OLIVEIRA, Katia Maria Pinto Guedes de; CORRÊA, Sérgio Machado; FONSECA, Antônio Sérgio Almeida; MOREIRA, Josino Costa; PERES, Frederico; TEIXEIRA, Liliane Reis; MENEZES, Marco Antônio Carneiro; MATTOS, Rita de Cássia Oliveira da Costa; SARCINELLI, Paula de Novaes; LARENTIS, Ariane Leites. **Avaliação ambiental de BTEX (benzeno, tolueno, etilbenzeno, xilenos) e biomarcadores de genotoxicidade em trabalhadores de postos de combustíveis**. Revista Brasileira de Saúde Ocupacional, vol. 42, suplemento 1, 2017.

AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENIST. 2018 TLVs e BEIs: Baseados na Documentação dos Limites de Exposição Ocupacional (TLVs) para substâncias Químicas e Agentes Físicos & Índices Biológicos de Exposição (BEIs). Tradução Associação Brasileira de Higienistas Ocupacionais. São Paulo: Cromosete Gráfica e Editora, 2018.

ANALYTICS BRASIL. **A importância dos Brancos de Campo**. 2018. Disponível em: <https://www.analyticsbrasil.com.br/importancia-dos-brancos-de-campo/>. Acesso em: 10 set. 2018.

ANALYTICS BRASIL. **Amostragem passiva**. 2018. Disponível em: <https://www.analyticsbrasil.com.br/amostragem-passiva/>. Acesso em: 20 set. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DISTRIBUIDORAS DE ASFALTO - ABEDA. **Manual Básico de Emulsões Asfálticas**. 2ª ed. Rio de Janeiro: ABEDA, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6576/2007**: Materiais asfálticos - Determinação da penetração. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9935/2011**: Agregados – Terminologia. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14725-4/2014**: Produtos químicos — Informações sobre segurança, saúde e meio ambiente. Parte 4: Ficha de informações de segurança de produtos químicos (FISPQ), Rio de Janeiro, 2014.

AUSTRALIAN INSTITUTE OF OCCUPATIONAL HYGIENIST. **Adjustment of workplace exposure standards for extended work shifts**. 2 ed. Tullamarine, 2016

BALBO, José Tadeu. **Pavimentação Asfáltica**: materiais, projeto e restauração. 1 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

BAUER, L. A. F. **Materiais de Construção**: Volume 1. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

BERNUCCI, Liedi Bariani et al. **Pavimentação Asfáltica**: Formação Básica para Engenheiros. Rio de Janeiro: PETROBRAS, 2007.

BRASKEM S.A. **Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos**: Tolueno, 2017.

BRASKEM S.A. **Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos**: Benzeno, 2017.

BRASQUÍMICA PRODUTOS ASFÁLTICOS LTDA. **Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos - FISPQ**: Asfalto Diluído de Petróleo CM30, 2016.

BRASQUÍMICA PRODUTOS ASFÁLTICOS LTDA. **Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos - FISPQ**: Cimento Asfáltico de Petróleo CAP 50/70, 2014.

BRASQUÍMICA PRODUTOS ASFÁLTICOS LTDA. **Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos - FISPQ**: Emulsão Asfáltica para Pavimentação Tipo RR-1C, 2016.

BRASIL. Decreto—Lei nº 5.452, de 1º de maio de 1943. **Aprova a Consolidação das Leis do Trabalho**. Presidência da República, Brasília, DF, 01 maio 1943.

BRASIL. Decreto Federal nº 2.657 de 3 de julho de 1998. **Promulga a Convenção nº 170 da OIT, relativa à Segurança na Utilização de Produtos Químicos no Trabalho, assinada em Genebra, em 25 de junho de 1990**. Presidência da República, Brasília, DF, 03 jul. 1998

BRASIL. Ministério do Trabalho. **NR 6 - Equipamento de Proteção Individual - EPI**. Publicada pela Portaria GM nº 3.214, de 08 de junho de 1978 e atualizada pela Portaria MTb nº 870, de 06 de julho de 2017.

BRASIL. Ministério do Trabalho. **NR 9 - Programa de Prevenção de Riscos Ambientais**. Publicada pela Portaria MTb nº 3.214, de 08 de junho de 1978 e atualizada pela Portaria MTb nº 871, de 06 de julho de 2017.

BRASIL. Ministério do Trabalho. **NR 15 - Atividades e Operações Insalubres**. Publicação Portaria MTbn.º 3.214, de 08 de junho de 1978 e atualizada pela Portaria MTE n.º 1.297, de 13 de agosto de 2014.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR 22 - Segurança e Saúde Ocupacional na Mineração**. Publicada pela Portaria MTb n.º 3.214, de 08 de junho de 1978 e atualizada pela Portaria MTPS n.º 506, de 29 de abril de 2016.

BRASIL. Secretaria de Segurança e Saúde no Trabalho. **Instrução Normativa nº 1 de 20 de dezembro de 1995**. Publicada em 04 jan. 1996.

CARL ROTH. **Ficha de Dados de Segurança**: Etilbenzeno ROTICHROM GC, 2017.

CASTRO, Pery Cesar Gonçalves de. **Concreto asfáltico para rodovias**. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2015.

CORRÊA, Márcia Angelim Chaves; SALIBA, Tuffi Messias. **Manual Prático de Avaliação e Controle de Gases e Vapores**: PPRA. 6ª ed. São Paulo: LTr, 2014.

D'ALASCIO, Renato Gomes; MENEGALI, Maisa; BORNELLI, Andrei da Silva; MAGAJEWSKI, Flávio. **Sintomas relacionados à exposição ocupacional ao benzeno e hábitos ocupacionais em trabalhadores de postos de revenda de combustíveis a vareja na região sul de Santa Catarina**. Revista Brasileira de Medicina do Trabalho, 2014;

FERNANDES, Paulo Roberto N.; PINHEIRO, Lucidalva S.; CAVALCANTE, Rivelino M.; NASCIMENTO, Ronaldo F. do; SOARES, Jorge B. **Avaliação da Presença de Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPAs) em Ligante Asfáltico Brasileiro**. 4º PDPETRO, Campinas: 2007.

FUNDACENTRO. **Norma de Higiene Ocupacional nº 02**: Análise Qualitativa da Fração Volátil (Vapores Orgânicos) em colas, tintas e vernizes por cromatografia gasosa/ detector de ionização de chama, 1999.

GHELERI, Luci Carla. **Amostragem Passiva de Benzeno presente na Atmosfera**. 2003. 142f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas-SP, 2003.

GODOI, Ana Flavia Locateli; GODOI, Ricardo Henrique Moreton; AZEVEDO, Roosevelt de; MARANHÃO, Leila Teresinha. **Poluição e a densidade de vegetação: BTEX em algumas áreas públicas de Curitiba-PR, Brasil**. Química Nova, v. 33, n. 4, p. 827-833, 2010.

GRUBBA, D. **Materiais de Construção**. 2 ed. São Paulo: Createspace Independent Publishing Platform, 2016.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. **Orientação sobre validação de métodos de ensaios químicos**: DOQ-CGCRE-008, 2007. Disponível em

http://www.inmetro.gov.br/Sidoq/Arquivos/CGCRE/DOQ/DOQ-CGCRE-8_02.pdf. Acesso em 12 set. 2018.

ISOFAR - INDÚSTRIA E COMÉRCIO DE PRODUTOS QUÍMICOS LTDA. **Ficha De Informações De Segurança De Produtos Químicos - FISPQ**: Benzeno, 2013.

KASPER, Daniele; FORSBERGA, Bruce; ALMEIDA, Ronaldo de; BASTOS, Wanderley R.; MALM, Olaf. **Metodologias de coleta, preservação e armazenamento de amostras de água para análise de mercúrio**: uma revisão. Química Nova, v. 38, n. 3, p. 410-418, 2015.

LOPES, José Luiz. **Riscos para a saúde de trabalhadores de pavimentação com asfalto**. Revista de Gestão Integrada em Saúde do Trabalho e Meio Ambiente, v.3, n.3, Seção Interfacehs, 2008.

LUTES, Christopher C.; THOMAS, Raymond J.; BURNETTE. **Evaluation of Emissions from Paving Asphalts**. US. Environmental Protection Agency. North Carolina: 1994.

MARQUES, Mônica Regina da Costa; LAURENTINO, Lauro de Sena; CORRÊA, Sérgio Machado. **Impacto ambiental de kartódromos situados na cidade do Rio de Janeiro**: Monitoramento de BTEX no ar e do nível de ruído. Revista Química Nova, v. 35, n. 9, 2012.

MERCK S.A. Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos - FISPQ, 2017.

NATIONAL INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH. **NIOSH Pocket Guide to Chemical Hazards**. Cincinnati: 2007.

NATIONAL INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH. **NIOSH Manual of Analytical Methods**: Method 1501 - Aromatic Hydrocarbons. Cincinnati: 2003.

NATIONAL INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH. **NIOSH Manual of Analytical Methods**: Method 3700 - Benzene by portable GC. Cincinnati: 1994.

NATIONAL INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH. **NIOSH Manual of Analytical Methods**: Method 3800 - Organic and Inorganic Gases by Extractive FTIR Spectrometry. Cincinnati: 2003.

NATIONAL INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH. **NIOSH Manual of Analytical Methods**: Method 4000 - Toluene (diffusive sampler). Cincinnati: 1994.

OLSON, Kent R. (Org.). **Manual de Toxicologia Clínica**. AMGH Editora Ltda, 2014.

OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH ADMINISTRATION. **Sampling and Analytical Methods**: Method number 111 - Toluene. Salt Lake City: 1998.

OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH ADMINISTRATION. **Sampling and Analytical Methods**: Method number 1002 - Xylenes (o-,m-,p-isomer) Ethylbenzene. Salt Lake City: 1999.

OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH ADMINISTRATION. **Sampling and Analytical Methods**: Method number 1005 - Benzene. Salt Lake City: 2002.

PESSOA JUNIOR, Elci. **Manual de Obras Rodoviárias e Pavimentação Urbana**: Execução e Fiscalização. São Paulo: Pini, 2014.

PETROBRAS DISTRIBUIDORA S.A. **Ficha de Informações de Segurança de Produto Químico - FISPQ**: Emulsão Asfáltica RR 1C Flex, 2015.

PETROBRAS DISTRIBUIDORA S.A. **Ficha de Informações de Segurança de Produto Químico - FISPQ**: Xileno BR AE, 2017.

PICELI, Paulo Cezar. **Quantificação de benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos no ar em ambientes ocupacionais**. 2005. 131f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

PINTO, Salomão; PINTO, Isaac Eduardo. **Pavimentação Asfáltica**: Conceitos Fundamentais sobre Materiais e Revestimentos Asfálticos. Rio de Janeiro: LTC, 2015.

QUÍMICA CREDIE LTDA. **Ficha de Informações de Segurança de Produto Químico - FISPQ**: Solvente Xileno, 2012.

SALIBA, Tuffi Messias. **Manual Prático de Higiene Ocupacional e PPRA**: avaliação e controle dos riscos ambientais. 7ª ed. São Paulo: LTr, 2015.

SALIBA, Anis; FANTAZZINI, Mário Luiz. **Estratégia de amostragem: gestão das exposições na higiene ocupacional**. Revista de Higiene Ocupacional, ano 9, n. 20. p. 5-9, 2010.

SANTOS, Daniela França dos. **Estudo dos compostos BTEX na atmosfera da cidade de Salvador utilizando amostragem passiva**. 2015. 155f. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal da Bahia. Salvador-BA, 2015

SENÇO, Wlastermiller de. **Manual de técnicas de pavimentação**. São Paulo: Pini, 2001.

SHELL BITUMEN. **The Shell Bitumen Handbook**. 5 ed. London: Thomas Telford Publishing, 2003.

SKC INC. **SKC 575 Series Passive Sampler Rate/Selection Guide**. Eighty four, PA. Disponível em <https://www.skcinc.com/catalog/pdf/instructions/37021.pdf>. Acesso em 22 ago. 2018.

SKC INC. **SKC VOC 575 Series Passive Samplers for Organic Vapors**: Operating Instructions. Eighty four, PA. Disponível em <https://www.skcinc.com/catalog/pdf/instructions/37088.pdf>. Acesso em 22 ago. 2018.

SKC LTD. **Anasorb Sorbent Tubes**. Dorset, DT. Disponível em <https://www.skcltd.com/products2/sorbent-tubes/anasorb-sorbent-tubes.html#anasorb-747>. Acesso em 20 set. 2018.

SOUSA, Kelly Roberta de Palma. **Estudo sobre compostos orgânicos voláteis presentes no ar no município de Paulínia**. 2002. 203f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Estadual de Campinas. Campinas-SP, 2002.

SPINELLI, Robson; BREVIGLIERO, Ezio; POSSEBON, José. **Higiene Ocupacional: Agentes Biológicos, Químicos e Físicos**. 8 ed. São Paulo: Editora Senac, 2015.

World Health Organization. **IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans**: Preamble. Lyon, 2006. Rev. 2015. Disponível em: <https://monographs.iarc.fr/wp-content/uploads/2018/06/CurrentPreamble.pdf>. Acesso em 12 ago. 2018.

World Health Organization. **IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans**: List of Classifications, v. 1-122. Lyon, 2018. Disponível em <https://monographs.iarc.fr/list-of-classifications-volumes>. Acesso em 14 ago. 2018.

World Health Organization. **IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans**: List of Classifications by cancer sites with sufficient or limited evidence in humans, Volumes 1 to 122. <https://monographs.iarc.fr/wp-content/uploads/2018/07/Table4.pdf>. Acesso em 14 ago. 2018

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **The WHO Recommended Classification of pesticides by Hazard and Guidelines to Classification 2009**. Switzerland, 2009

ANEXOS

ANEXO A - Manual de Operação dos Amostradores Passivos da Série 575 da SKC



Operating Instructions

863 Valley View Road, Eighty Four, PA 15330 USA
Tel: 724-941-9701 • www.skcinco.com

SKC VOC ✓ 575 Series Passive Samplers for Organic Vapors



Performance Profile

Housing Material:	Nylon
Diameter:	1.4 in (3.5 cm)
Length (including clip):	2.5 in (6.3 cm)
Depth:	0.6 in (1.5 cm)

	575-001	575-002	575-005	575-006
Sorbent/Amount:	Charcoal, 350 mg	Anasorb® 747, 500 mg	Anasorb 747 treated with hydrobromic acid, 500 mg	Anasorb 747, treated with tert-Butyl catechol, 500 mg
Concentration Range:	Varies - dependent upon chemical of interest		0.1 to 4 ppm	0.1 to 202 ppm
Analysis:	Solvent desorption, gas chromatography/flame ionization detector (GC/FID)		Solvent desorption, gas chromatography/electron capture detector (GC/ECD)	Solvent desorption, gas chromatography/flame ionization detector (GC/FID)
Shelf-life:	2 years at < 39.2 F (4 C)		18 months at < 39.2 F (4 C)	2 years at < 39.2 F (4 C)
Storage:	Before use: Store at ambient temperature. After use: For sample storage information, refer to the method for the chemical of interest. <i>Expedited shipping is recommended.</i>		Before use: Store at < 39.2 F (4 C). After use: Store at < 39.2 F (4 C) for up to 3 weeks. <i>Expedited shipping is recommended.</i>	Before use: Store at ambient temperature. After use: Store at ambient or refrigerator temperature (< 4 C) for up to 2 weeks.
Sample Time:	Validated for 15-min and 8-hr occupational exposure sampling. Lab and field studies conducted with several compounds show suitability for 24-hr air sampling. <i>For sampling times, visit www.skcinco.com and click on Sampling Guides.</i>		Validated for 15-min and 8-hr occupational exposure sampling	Validated for 15-min and 8-hr occupational exposure sampling (cannot be used for peak sampling)
Sampling Rate:	Dependent upon chemical of interest. <i>For compound-specific sampling rates, visit www.skcinco.com and click on Sampling Guides.</i>		21.2 ml/min	13.55 ml/min

Sampling

Select the passive sampler with the sorbent best suited for the chemical analysis of interest. Visit www.skcinco.com and click on Sampling Guides to determine the recommended sampler for a specific compound.

1. Remove the sampler from the sealed pouch. **Do not discard the pouch as it is used to protect the sampler during shipment.**



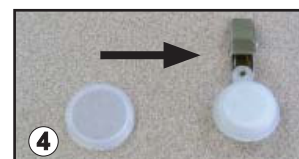
2. Write the date, start time, and sampler ID number (found on the sampler) on the label on the pouch.



3. Remove the cap on the front of the sampler and set aside. **Do NOT remove the plastic plug on the back of the sampler. Removing this plug will VOID the sample.** Clip the sampler to the worker's clothing in the breathing zone. Ensure small holes are facing out. **Ensure holes are not covered in any way. Do not expose to rain/spray or splashing chemicals. Do not handle with dirty fingers/gloves.**



4. At the end of the desired sampling period, unclip the sampler from the worker's clothing. Replace the cap on the front of the sampler.



5. Write the stop time on the label on the pouch. **Important:** Measure and record ambient temperature and atmospheric pressure. Include in information sent to the laboratory.



6. Carefully package the sampler in the pouch and send it, blanks, and pertinent information to an AIHA-accredited laboratory for analysis.



ANEXO B - Cadeia de Custódia do envio dos amostradores

CADEIA DE CUSTÓDIA/LABORATORY TEST REQUEST

Miguel Melo Carvalhêdo Neto
São Luis/Maranhão
Account #89059307



DATA DE ENVIO/DATE SHIPPED 29/10/2018	Nº DE AMOSTRAS/ # OF SAMPLES 06	TIPO DE AMOSTRA OU AMOSTRADOR/ SAMPLE TYPE OR MEDIA SKC 575-002	NOME DO PROJETO/ PROJECT BTEx PAV. ASF.	RACTERES/ ACTERS
Nº DA PROPOSTA/PURCHASE ORDER NO. 20181124-D	CONTATO/CONTACT MIGUEL CARVALHÊDO		Nº DE TELEFONE/TELEPHONE NUMBER	
PRAZO DO RELATÓRIO/ TURNAROUND TIME ☐ *Mesmo dia/Same day ☐ *1 dia/1 day ☐ *2 dia/2 day ☒ Normal/Standard *Ligue para disponibilidade/Call for availability *Custo Extra/Extra Charge	INSTRUÇÕES E/OU CONDIÇÕES ESPECIAIS/ SPECIAL INSTRUCTIONS AND/OR UNUSUAL CONDITIONS		☐ RESULTADOS POR FAX/FAX RESULTS - NÚMERO DO FAX/ FAX NUMBER: ☒ RELATÓRIO POR EMAIL/ EMAIL RESULTS - EMAIL:	
PARA USO EXCLUSIVO DO LABORATÓRIO/FOR LABORATORY USE ONLY	CODIGO DA AMOSTRA / SAMPLE # OR SAMPLE AREA	DATA DE AMOSTRAGEM/ SAMPLE DATE	VOLUME AMOSTRADO/ SAMPLE VOLUME (L)	ANÁLISES REQUISITADAS - FAVOR ESPECIFICAR AS ANÁLISES PARA CADA AMOSTRA SEPARADAMENTE/ ANALYSIS REQUESTED - PLEASE USE SEPARATE LABORATORY TEST REQUEST FOR EACH SAMPLE TYPE
	4374	26/10/18	08 HORAS	BTEx
	0388	26/10/18	08 HORAS	BTEx
	1849	26/10/18	08 HORAS	BTEx
	0147	26/10/18	08 HORAS	BTEx
	0237	26/10/18	08 HORAS	BTEx
	0002	26/10/18	—	BTEx BRANCO DE CAMPO BC

REGISTRO DA CADEIA DE CUSTÓDIA/CHAIN OF CUSTODY RECORD

AS AMOSTRAS FORAM SELADAS PARA TRANSPORTE E ENVIADAS
PARA O LABORATÓRIO VIA/SAMPLES HAVE BEEN SEALED FOR
TRANSPORT AND DELIVERED TO LABORATORY VIA:

Miguel Melo Carvalhêdo Neto
ASSINE AQUI PARA AUTORIZAR A CADEIA DE CUSTÓDIA/SIGN HERE TO INITIATE CHAIN OF CUSTODY
29/10/2018
DATA/DATE

TRANSPORTADORA/CARRIER	SE TRANSPORTADORA DA ANALYTICS ASSINAR AQUI/F ANALYTICS COURIER SIGN HERE	AMOSTRAS RECEBIDAS POR/ SAMPLES RECEIVED BY:	AMOSTRAS LIBERADAS POR/ SAMPLES RELEASED BY:
DATA E HORÁRIO/ DATE AND TIME 9:15 110518	CONDIÇÕES DAS AMOSTRAS/ CONDITION OF SAMPLE OK	ASSINATURA (RECEBIMENTO DE AMOSTRAS)/ SIGNATURE (SAMPLE RECEIVING)	ASSINATURA (RECEBIMENTO DE AMOSTRAS)/ SIGNATURE (SAMPLE RECEIVING)
		ASSINATURA (ADMINISTRAÇÃO DE AMOSTRAS)/ SIGNATURE (SAMPLE ADMINISTRATION)	ASSINATURA (ADMINISTRAÇÃO DE AMOSTRAS)/ SIGNATURE (SAMPLE ADMINISTRATION)
		ASSINATURA (LAB)/SIGNATURE (LAB)	ASSINATURA (LAB)/SIGNATURE (LAB)
		ASSINATURA (LAB)/SIGNATURE (LAB)	ASSINATURA (LAB)/SIGNATURE (LAB)

Nota/Note: Assinando este formulário de Cadeia de Custódia autorizo o laboratório a realizar as análises das amostras acima conforme termos e condições de prestação de serviço descritos na proposta comercial citada acima ou conforme os termos e condições padrão estabelecidos pela Analytix. Caso o campo "Nº da Proposta" não seja preenchido, será considerado o preço de tabela atual praticada pela Analytix.

ANEXO C - Certificado de Acreditação do Laboratório pela AIHA



September 29, 2016

Laboratory ID: 100531

Andrew Teague, CIH
Analytics Corporation
10329 Stony Run Lane
Ashland, VA 23005

Dear Mr. Teague, CIH:

Congratulations! The AIHA Laboratory Accreditation Programs (AIHA-LAP), LLC's Analytical Accreditation Board (AAB) has approved Analytics Corporation as an accredited Industrial Hygiene laboratory.

Attached, please find the IHLAP accreditation certificate, scope of accreditation document, and a copy of the current AIHA-LAP, LLC license agreement (if your completed agreement is not on file at AIHA-LAP, LLC). The accreditation logo has been designed for use by all AIHA-LAP, LLC accredited laboratories. If your laboratory chooses to use the logo in its advertising the laboratory's accreditation, you must complete and return the AIHA-LAP, LLC license agreement to a Laboratory Accreditation Specialist. Once submitted, an electronic copy of the accreditation logo will be sent to you. Please inform us if your laboratory does not wish to use the logo in advertising.

At the close of your site assessment, your site assessor recommended a surveillance visit between six and twelve months after accreditation to address the items outstanding from site assessment. This recommendation was approved by the AAB. As your laboratory was assessed and accredited to ISO/IEC17025:2005, AIHA Laboratory Accreditation Programs, LLC is obligated to follow the ISO/IEC17011 standard as an accrediting body. Please see ISO17011 Section 7.11 and AIHA LAP Policy 3.5.10 on surveillance visits.

Laboratory accreditation shall be maintained by continued compliance with IHLAP requirements (see Policy Modules 2B and 6), which includes proficient participation in all demonstrations of proficiency for all Fields of Testing (FoTs) for which the laboratory is accredited. An accredited laboratory that wishes to expand into a new FoT must submit an updated accreditation application to AIHA-LAP, LLC for review by the AAB. Any changes in ownership, laboratory location, personnel, FoTs/Methods, or significant procedural changes shall be reported to AIHA-LAP, LLC in writing within twenty (20) business days of the change. The accreditation certificate is the property of AIHA-LAP, LLC and must be returned to us, should your laboratory withdraw or be removed from the IHLAP.

Again, congratulations. If you have any questions, please contact Lauren Schnack, Laboratory Accreditation Specialist, at (703) 846-0716.

Sincerely,

Cheryl O. Morton
Managing Director
AIHA Laboratory Accreditation Programs, LLC



AIHA Laboratory Accreditation Programs, LLC

acknowledges that

Analytics Corporation

10329 Stony Run Lane, Ashland, VA 23005

Laboratory ID: 100531

along with all premises from which key activities are performed, as listed above, has fulfilled the requirements of the AIHA Laboratory Accreditation Programs (AIHA-LAP), LLC accreditation to the ISO/IEC 17025:2005 international standard, *General Requirements for the Competence of Testing and Calibration Laboratories* in the following:

LABORATORY ACCREDITATION PROGRAMS

- ☒ **INDUSTRIAL HYGIENE**
- ☐ **ENVIRONMENTAL LEAD**
- ☐ **ENVIRONMENTAL MICROBIOLOGY**
- ☐ **FOOD**
- ☐ **UNIQUE SCOPES**

Accreditation Expires: September 01, 2018

Accreditation Expires:

Accreditation Expires:

Accreditation Expires:

Accreditation Expires:

Specific Field(s) of Testing (FoT)/Method(s) within each Accreditation Program for which the above named laboratory maintains accreditation is outlined on the attached **Scope of Accreditation**. Continued accreditation is contingent upon successful on-going compliance with ISO/IEC 17025:2005 and AIHA-LAP, LLC requirements. This certificate is not valid without the attached **Scope of Accreditation**. Please review the AIHA-LAP, LLC website (www.aihaaccreditedlabs.org) for the most current Scope.

William Walsh, CIH
Chairperson, Analytical Accreditation Board

Cheryl O. Morton
Managing Director, AIHA Laboratory Accreditation Programs, LLC

Revision 15: 03/30/2016

Date Issued: 09/29/2016



AIHA Laboratory Accreditation Programs, LLC

SCOPE OF ACCREDITATION

Analytics Corporation

10329 Stony Run Lane, Ashland, VA 23005

Laboratory ID: **100531**

Issue Date: 09/29/2016

The laboratory is approved for those specific field(s) of testing/methods listed in the table below. Clients are urged to verify the laboratory's current accreditation status for the particular field(s) of testing/Methods, since these can change due to proficiency status, suspension and/or withdrawal of accreditation.

Industrial Hygiene Laboratory Accreditation Program (IHLAP)

Initial Accreditation Date: 05/01/1981

IHLAP Scope Category	Field of Testing (FoT) (FoTs cover all relevant IH matrices)	Technology sub-type/ Detector	Published Reference Method/Title of In-house Method	Method Description or Analyte <i>(for internal methods only)</i>
Chromatography Core	Gas Chromatography	GC/FID	AIHAJ V47 N12 P742	
			ASTM D5075 Modified	
			EPA TO-10 A	
			IHGC-P001	Acetone Cyanohydrin
			IHGC-P002	Methacrylate monomers and alcohols
			IHGC-P003	Aminonitrile Compounds
			IHGC-P004	Chloroformate Compounds
			IHGC-P005	Monomethylformamide
			IHGC-P008	Lauryl Acrylate & Lauryl Methacrylate (C16-18)
			IHGC-P010	3,4-Dichlorobenzotrifluoride
			IHGC-P012	Primene 81R
			IHGC-P014	Epichlorohydrin
			IHGC-P015	Benzonitrile
			IHGC-P016	2-Vinyl Pyridine
			IHGC-P017	DBE (DUPONT Dibasic Esters-86001)
			IHGC-P018	Isobornyl Methacrylate
			IHGC-P020	Triphenylphosphine
			IHGC-P023	n-&p-Octylamine
			IHGC-P025	Hydroxyethyl Acrylate, Hydroxyethyl Methacrylate, 2-Hydroxypropyl Acrylate, & 2-Hydroxypropyl Methacrylate

Effective: 04/10/2015

100531_Scope_IHLAP_2016_09_29

Page 1 of 14

IHLAP Scope Category	Field of Testing (FoT) (FoTs cover all relevant IH matrices)	Technology sub-type/ Detector	Published Reference Method/Title of In-house Method	Method Description or Analyte (for internal methods only)
Chromatography Core	Gas Chromatography	GC/FID	IHGC-P028	Ethylene Dichloride
			IHGC-P029	Monomers & Solvents
			IHGC-P030	Isodecyl Methacrylate
			IHGC-P031	Phenothiazine
			IHGC-P032	Methyl Mercaptopropionate
			IHGC-P034	2-Ethylhexylnitrate
			IHGC-P036	Sampling and Analytical Method Validation - Dibasic Acid Esters
			IHGC-P037	Triglycidylisocyanurate
			IHGC-P038	3-Dimethylaminopropylamine, 3-Methoxypropylamine, 3-(Dimethyl-Amino)Propionitrile, 3-Methoxypropionitrile
			IHGC-P039	Vinylimidazole, Vinyl Pyrrolidone, Vinyl Caprolactam and Methyl Pyrrolidone
			IHGC-P040	Dimethylcyclsiloxanes (D3, D4, D5, and D6) and Hexamethyldisiloxane (HMDS)
			ISO 18145 Modified	
			NIOSH 1000	
			NIOSH 1001	
			NIOSH 1002	
			NIOSH 1003	
			NIOSH 1005	
			NIOSH 1006	
			NIOSH 1007	
			NIOSH 1009	
			NIOSH 1010	
			NIOSH 1011	
			NIOSH 1013	
			NIOSH 1015	
			NIOSH 1016	
			NIOSH 1018	
			NIOSH 1019	
			NIOSH 1020	
			NIOSH 1022	
			NIOSH 1024	
			NIOSH 1026 Modified	
			NIOSH 1300	

IHLAP Scope Category	Field of Testing (FoT) (FoTs cover all relevant IH matrices)	Technology sub-type/ Detector	Published Reference Method/Title of In-house Method	Method Description or Analyte <i>(for internal methods only)</i>
Chromatography Core	Gas Chromatography (Diffusive Samplers)		NIOSH 1401	
			NIOSH 1402	
			NIOSH 1403	
			NIOSH 1450	
			NIOSH 1452	
			NIOSH 1454	
			NIOSH 1457	
			NIOSH 1458	
			NIOSH 1459	
			NIOSH 1500	
			NIOSH 1501	
			NIOSH 1550	
			NIOSH 1551	
			NIOSH 1552	
			NIOSH 1602	
			NIOSH 1606	
			NIOSH 1609	
			NIOSH 1610	
			NIOSH 1611	
			NIOSH 1612	
			NIOSH 1613	
			NIOSH 1614	
			NIOSH 1615	
			NIOSH 1616	
			NIOSH 1617	
			NIOSH 1619	
			NIOSH 2003	
			NIOSH 2004	
			NIOSH 2013	
			NIOSH 2500	
			NIOSH 2505	
			NIOSH 2508	
			NIOSH 2513	
			NIOSH 2516	
			NIOSH 2517	
			NIOSH 2529	
			NIOSH 2537	
			NIOSH S3	
			OSHA 01	
			OSHA 07	
			OSHA 09	

ANEXO D - Laudo da análise de BTEX nos Amostradores Passivos

23/11/2018

MIGUEL CARVALHEDO
MIGUEL MELO CARVELHEDO NETO
AV. DOS ANDRADS, 3323/504
BELO HORIZONTE, MG, BRASIL, 31070-560

Ordem de serviço: W309094

ID projeto do cliente BTEX PAV. ASF.
Amostras recebidas em: 05/11/2018
Relatório enviado em 13/11/2018

Em anexo estão os resultados de análise obtidos das amostras enviadas para a Analytics. Todas as cadeias de custódias associadas a esse grupo de amostra estão anexadas a este relatório. As concentrações das amostras no ar são calculadas de acordo com a conveniência do cliente, entretanto as exatidões globais dos resultados dependem tanto das exatidões do volume do ar amostrado como da quantidade encontrada na amostra analisada. Os volumes teóricos de ar amostrado para amostradores passivos são calculados utilizando o tempo de amostragem enviado pelo cliente e as taxas de amostragem de cada composto fornecida pelo fabricante do amostrador. Os resultados fornecidos neste relatório estão relacionados apenas aos itens analisados.

Para brancos e compostos não detectados os resultados são indicados pelo caractere "<" (menor que) seguido do limite de quantificação da análise. A menos que não seja indicado o contrário, os resultados não são corrigidos pelo branco.

A menos que o relatório seja assinado pelo(s) responsável(is), este relatório deve ser considerado PRELIMINAR e sujeito a mudanças.

Assume-se que nos cálculos dos limites de exposição TWA os tempos não amostrados correspondem a concentrações iguais a zero.

Agradecemos por confiar na Analytics como seu laboratório de análises. Quaisquer questões relacionadas a este relatório entre em contato com nosso Departamento de Relacionamento com o Cliente nos números (31) 4063-9493 e (11) 4063-9110.



Andrew L. Teague, CIH
Diretor Técnico



Leandro Assis Magalhães
CRQ 2ª região: 021028337



Analytics Corporation
10329 Stony Run Lane
Ashland, Va 23005
Phone: (804) 365-3000 Fax: (804) 365-3002
AIHA Accreditation # 176, ID 100531

Relatório Final

Ordem de Serviço: W309094

MIGUEL MELO CARVELHEDO NETO
AV. DOS ANDRADS, 3323/504
BELO HORIZONTE, MG, BRASIL, 31070-560

Cliente: 89059307
Aos cuidados de: MIGUEL CARVALHEDO
Ordem De Compra: 449422

Data de Recebimento: 05/11/18
Projeto de Cliente BTEX PAV. ASF.

Lab ID: W309094001 Amostra #: 4374 Amostrador SKC POVM 575-002 (CARBON BEAD) Data Amostra: 26/10/18 Tempo de Amostragem: 480

Analito	Método	Data de Análise	Volume	Limite de Quantificação	Frente	Posterior	Total	Concentração
Benzeno	In-House IHGC-P029	13/11/18	8,21	2 ug			< 2 ug	< 0,2437 mg/M3 < 0,0763 ppm
Etil Benzeno	In-House IHGC-P029	13/11/18	6,64	2 ug			< 2 ug	< 0,301 mg/M3 < 0,0693 ppm
Tolueno	In-House IHGC-P029	13/11/18	7,15	2 ug			< 2 ug	< 0,2799 mg/M3 < 0,0743 ppm
Hidrocarbonetos totais como n-Hexano	In-House IHGC-P029	13/11/18	6,86	40 ug			< 40 ug	< 5,831 mg/M3
Xilenos	In-House IHGC-P029	13/11/18	6,07	6 ug			< 6 ug	< 0,99 mg/M3 < 0,228 ppm



Analytics Corporation
10329 Stony Run Lane
Ashland, Va 23005
Phone: (804) 365-3000 Fax: (804) 365-3002
AIHA Accreditation # 176, ID 100531

Relatório Final

Ordem de Serviço: W309094

Lab ID:	W309094002	Amostra #:	0388	Amostrador	SKC POVM 575-002 (CARBON BEAD)	Data Amostra:	26/10/18	Tempo de Amostragem:	480
---------	------------	------------	------	------------	-----------------------------------	---------------	----------	----------------------	-----

Analito	Método	Data de Análise	Volume	Limite de Quantificação	Frente	Posterior	Total	Concentração
Benzeno	In-House IHGC-P029	13/11/18	8,21	2 ug			< 2 ug	< 0,2437 mg/M3 < 0,0763 ppm
Etil Benzeno	In-House IHGC-P029	13/11/18	6,64	2 ug			< 2 ug	< 0,301 mg/M3 < 0,0693 ppm
Tolueno	In-House IHGC-P029	13/11/18	7,15	2 ug			< 2 ug	< 0,2799 mg/M3 < 0,0743 ppm
Hidrocarbonetos totais como n-Hexano	In-House IHGC-P029	13/11/18	6,86	40 ug			< 40 ug	< 5,831 mg/M3
Xilenos	In-House IHGC-P029	13/11/18	6,07	6 ug			< 6 ug	< 0,99 mg/M3 < 0,228 ppm



Analytics Corporation
10329 Stony Run Lane
Ashland, Va 23005
Phone: (804) 365-3000 Fax: (804) 365-3002
AIHA Accreditation # 176, ID 100531

Relatório Final

Ordem de Serviço: W309094

Lab ID:	W309094003	Amostra #:	1849	Amostrador	SKC POVM 575-002 (CARBON BEAD)	Data Amostra:	26/10/18	Tempo de Amostragem:	480
---------	------------	------------	------	------------	-----------------------------------	---------------	----------	----------------------	-----

Analito	Método	Data de Análise	Volume	Limite de Quantificação	Frente	Posterior	Total	Concentração
Benzeno	In-House IHGC-P029	13/11/18	8,21	2 ug			< 2 ug	< 0,2437 mg/M3 < 0,0763 ppm
Etil Benzeno	In-House IHGC-P029	13/11/18	6,64	2 ug			< 2 ug	< 0,301 mg/M3 < 0,0693 ppm
Tolueno	In-House IHGC-P029	13/11/18	7,15	2 ug			< 2 ug	< 0,2799 mg/M3 < 0,0743 ppm
Hidrocarbonetos totais como n-Hexano	In-House IHGC-P029	13/11/18	6,86	40 ug			< 40 ug	< 5,831 mg/M3
Xilenos	In-House IHGC-P029	13/11/18	6,07	6 ug			< 6 ug	< 0,99 mg/M3 < 0,228 ppm



Analytics Corporation
10329 Stony Run Lane
Ashland, Va 23005
Phone: (804) 365-3000 Fax: (804) 365-3002
AIHA Accreditation # 176, ID 100531

Relatório Final

Ordem de Serviço: W309094

Lab ID:	W309094004	Amostra #:	0147	Amostrador	SKC POVM 575-002 (CARBON BEAD)	Data Amostra:	26/10/18	Tempo de Amostragem:	480
---------	------------	------------	------	------------	-----------------------------------	---------------	----------	----------------------	-----

Analito	Método	Data de Análise	Volume	Limite de Quantificação	Frente	Posterior	Total	Concentração
Benzeno	In-House IHGC-P029	13/11/18	8,21	2 ug			< 2 ug	< 0,2437 mg/M3 < 0,0763 ppm
Etil Benzeno	In-House IHGC-P029	13/11/18	6,64	2 ug			< 2 ug	< 0,301 mg/M3 < 0,0693 ppm
Tolueno	In-House IHGC-P029	13/11/18	7,15	2 ug			< 2 ug	< 0,2799 mg/M3 < 0,0743 ppm
Hidrocarbonetos totais como n-Hexano	In-House IHGC-P029	13/11/18	6,86	40 ug			< 40 ug	< 5,831 mg/M3
Xilenos	In-House IHGC-P029	13/11/18	6,07	6 ug			< 6 ug	< 0,99 mg/M3 < 0,228 ppm



Analytics Corporation
10329 Stony Run Lane
Ashland, Va 23005
Phone: (804) 365-3000 Fax: (804) 365-3002
AIHA Accreditation # 176, ID 100531

Relatório Final

Ordem de Serviço: W309094

Lab ID:	W309094005	Amostra #:	0237	Amostrador	SKC POVM 575-002 (CARBON BEAD)	Data Amostra:	26/10/18	Tempo de Amostragem:	480
---------	------------	------------	------	------------	-----------------------------------	---------------	----------	----------------------	-----

Analito	Método	Data de Análise	Volume	Limite de Quantificação	Frente	Posterior	Total	Concentração
Benzeno	In-House IHGC-P029	13/11/18	8,21	2 ug			< 2 ug	< 0,2437 mg/M3 < 0,0763 ppm
Etil Benzeno	In-House IHGC-P029	13/11/18	6,64	2 ug			< 2 ug	< 0,301 mg/M3 < 0,0693 ppm
Tolueno	In-House IHGC-P029	13/11/18	7,15	2 ug			< 2 ug	< 0,2799 mg/M3 < 0,0743 ppm
Hidrocarbonetos totais como n-Hexano	In-House IHGC-P029	13/11/18	6,86	40 ug			< 40 ug	< 5,831 mg/M3
Xilenos	In-House IHGC-P029	13/11/18	6,07	6 ug			< 6 ug	< 0,99 mg/M3 < 0,228 ppm



Analytics Corporation
10329 Stony Run Lane
Ashland, Va 23005
Phone: (804) 365-3000 Fax: (804) 365-3002
AIHA Accreditation # 176, ID 100531

Relatório Final

Ordem de Serviço: W309094

Lab ID:	W309094006	Amostra #:	0002	BC	Amostrador	SKC POVM 575-002 (CARBON BEAD)	Data Amostra:	26/10/18	Tempo de Amostragem:	0
---------	------------	------------	------	----	------------	-----------------------------------	---------------	----------	----------------------	---

Analito	Método	Data de Análise	Volume	Limite de Quantificação	Frente	Posterior	Total	Concentração
Benzeno	In-House IHGC-P029	13/11/18	0	2 ug			< 2 ug	--
Etil Benzeno	In-House IHGC-P029	13/11/18	0	2 ug			< 2 ug	--
Tolueno	In-House IHGC-P029	13/11/18	0	2 ug			< 2 ug	--
Hidrocarbonetos totais como n-Hexano	In-House IHGC-P029	13/11/18	0	40 ug			< 40 ug	--
Xilenos	In-House IHGC-P029	13/11/18	0	6 ug			< 6 ug	--



Analytics Corporation
10329 Stony Run Lane
Ashland, Va 23005
Phone: (804) 365-3000 Fax: (804) 365-3002
AIHA Accreditation # 176, ID 100531

Relatório Final

Ordem de Serviço: W309094

Comentários Gerais do Laboratório

Abreviações:

ug = microgramas; mg=milligramas; g = gramas, ppm=partes por milhão (volume), ppb = partes por bilhão (volume), mg/M3=miligramas por metro cúbico de ar, ug/M3=microgramas por metro cúbico de ar; Min=minutos, Qual=qualificadores

Analito	Padrão de Exposição	Limite de Exposição
Benzeno	LT NR-15	1 ppm
	ACGIH TLV-TWA	0,5 ppm
	ACGIH TLV-STEL	2,5 ppm
Etil Benzeno	LT NR-15	78 ppm
	ACGIH TLV-TWA	20 ppm
Tolueno	LT NR-15	78 ppm
	ACGIH TLV-TWA	20 ppm
Hidrocarbonetos totais como n-Hex	ACGIH TLV-TWA	NA
Xilenos	LT NR-15	78 ppm
	ACGIH TLV-TWA	100 ppm
	ACGIH TLV-STEL	150 ppm