



Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Centro de Ciências e Tecnologia

Faculdade de Engenharia

Alexandre Peçanha da Silva

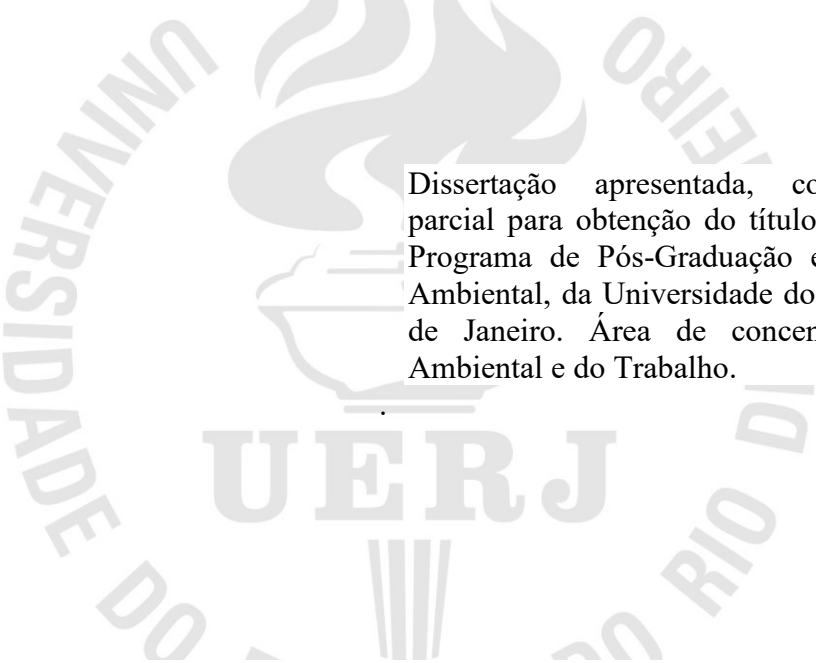
Monitoramento e avaliação de poluentes *indoor* de BTEX e HPAs em uma oficina mecânica de retífica de motores de automóveis e motos: impactos e riscos à saúde dos trabalhadores

Rio de Janeiro

2024

Alexandre Peçanha da Silva

Monitoramento e avaliação de poluentes *indoor* de BTEX e HPAs em uma oficina mecânica de retífica de motores de automóveis e motos: impactos e riscos à saúde dos trabalhadores



Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Saúde Ambiental e do Trabalho.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Monteiro Martins

Rio de Janeiro

2024

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC/B

S586 Silva, Alexandre Peçanha da.
Monitoramento e avaliação de poluentes indoor de BTEX e HPAs em uma oficina mecânica de retífica de motores de automóveis e motos: impactos e riscos à saúde dos trabalhadores / Alexandre Peçanha da Silva. – 2024.
143 f.

Orientador: Eduardo Monteiro Martins.
Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia.

1. Engenharia ambiental - Teses. 2. Higiene do trabalho - Teses. 3. Poluentes - Teses. 4. Ar - Poluição - Teses. 5. Oficinas mecânicas (Automóveis) - Teses. I. Martins, Eduardo Monteiro. II. Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia. III. Título.

CDU 613.6.027

Bibliotecária: Júlia Vieira – CRB7/6022

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta tese, desde que citada a fonte.

Assinatura

Data

Alexandre Peçanha da Silva

Monitoramento e avaliação de poluentes *indoor* de BTEX e HPAs em uma retífica de motores: impactos e riscos à saúde dos trabalhadores

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Saúde Ambiental e do Trabalho.

Aprovada em 03 de setembro de 2024.

Banca Examinadora

Prof. Dr. Eduardo Monteiro Martins Orientador
Faculdade de Engenharia – UERJ

Prof. Dr. Sérgio Machado Corrêa
Faculdade de Engenharia UERJ

Prof. Dr. Rizzieri Pedruzzi
Faculdade de Engenharia – UERJ

Prof.^a Dra. Simone Lorena Quiterio
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro (IFRJ)

Rio de Janeiro

2024

AGRADECIMENTOS

A conclusão desta dissertação é fruto de um trabalho multidisciplinar, pelo qual agradeço, em especial, à minha mãe, Graça Maria Peçanha, pelo suporte e apoio incondicional em toda a minha vida, bem como pelos sacrifícios que fez.

Presto também meu agradecimento *in memoriam* ao meu pai, Edson Rodrigues, e à minha madrinha Raimunda, que sempre me incentivaram

Agradeço à minha esposa pelo apoio na conclusão desta dissertação, e ao meu filho, que compreendeu as horas em que precisei me ausentar.

Expresso minha gratidão ao meu orientador, Prof. Dr. Eduardo Monteiro Martins, pelo suporte nas atividades de campo, pela paciência e pela constante disponibilidade em me orientar e guiar pelo melhor caminho no desenvolvimento deste estudo.

Agradeço também ao Prof. Dr. Sérgio Machado Correa, pelo suporte nas avaliações analíticas.

RESUMO

SILVA, Alexandre Peçanha da. **Monitoramento e avaliação de poluentes *indoor* de BTEX e HPAs em uma oficina mecânica de retífica de motores de automóveis e motos: impactos e riscos à saúde dos trabalhadores.** 2024. 143 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2024.

Os poluentes atmosféricos causam milhares de mortes no mundo, e a exposição a esses poluentes ocorre tanto em ambientes externos quanto internos. Estudos indicam que as pessoas passam de 80 a 90% do tempo em ambientes internos, dos quais uma parcela significativa ocorre em ambientes ocupacionais. Os compostos orgânicos voláteis (COVs) aparecem em concentrações significativas nesses ambientes. Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno, Xilenos e Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPAs) são poluentes onipresentes em ambientes internos e externos. Oficinas mecânicas emitem BTEX e HPAs devido à ampla exposição a compostos petrolíferos e emissões veiculares. Esse tipo de estabelecimento geralmente se encontra em ambientes urbanos e residenciais, muitas vezes adjacente a residências. Este trabalho avalia as concentrações de BTEX e HPAs na fase gasosa no interior de uma oficina mecânica que realiza a retífica de motores, localizada no Estado do Rio de Janeiro, na região metropolitana de Resende. Além disso, realiza-se uma avaliação de risco à saúde humana decorrente da exposição a esses COVs. As avaliações ocorrem em três pontos distintos, utilizando bombas de amostragem ativas e cartuchos adsorventes adequados para cada grupo de compostos. As concentrações médias de benzeno, tolueno, etilbenzeno, m+p-xileno e o-xileno foram, respectivamente, de 64,41 $\mu\text{g m}^{-3}$, 270,32 $\mu\text{g m}^{-3}$, 118,34 $\mu\text{g m}^{-3}$, 157,46 $\mu\text{g m}^{-3}$ e 109,16 $\mu\text{g m}^{-3}$, para benzeno, a concentração excedeu o limite de exposição ocupacional da ACGIH. Em relação aos HPAs, detectaram-se apenas os compostos fluoreno e fenantreno, nas concentrações respectivas de 0,30 $\mu\text{g m}^{-3}$ e 0,08 $\mu\text{g m}^{-3}$, quanto à avaliação de risco à saúde humana, o cálculo do risco excessivo de câncer (CR) devido à exposição ao benzeno identificou a maior probabilidade de $2,14 \times 10^{-4}$, em níveis acima do recomendado pela US.EPA. O índice de perigo (HI) para a exposição aos BTEX foi de 1,15. Os resultados dessas concentrações e das avaliações de risco à saúde humana indicam que a população exposta a esses compostos poderá desenvolver danos à saúde em decorrência de uma exposição crônica.

Palavras-chave: Poluentes atmosféricos; Compostos orgânicos voláteis; Ambientes ocupacionais; Oficina mecânica; Avaliação de risco a saúde humana.

ABSTRACT

SILVA, Alexandre Peçanha da. **Monitoring and evaluation of indoor BTEX and PAH pollutants in an automotive and motorcycle engine reconditioning workshop: impacts and health risks to worker.** 2024. 143 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2024.

Atmospheric pollutants cause thousands of deaths worldwide, and exposure to these pollutants occurs in both outdoor and indoor environments. Studies indicate that people spend 80 to 90% of their time indoors, with a significant portion occurring in occupational environments. Volatile organic compounds (VOCs) are found in significant concentrations in these environments. Benzene, Toluene, Ethylbenzene, Xylenes, and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) are ubiquitous pollutants in both indoor and outdoor environments. Mechanical workshops emit BTEX and PAHs due to their extensive exposure to petroleum compounds and vehicle emissions. This type of establishment is commonly found in urban and residential areas, often adjacent to homes. This study evaluates the concentrations of BTEX and PAHs in their gaseous phases inside a mechanical workshop that performs engine reconditioning, located in the State of Rio de Janeiro, in the metropolitan region of Resende. Additionally, a risk assessment for human health due to exposure to these VOCs is conducted. The assessments took place at three distinct points, using active sampling pumps and adsorbent tubes suitable for each group of compounds. The average concentrations of benzene, toluene, ethylbenzene, m+p-xylene, and o-xylene were $64,41 \mu\text{g m}^{-3}$, $270,32 \mu\text{g m}^{-3}$, $118,34 \mu\text{g m}^{-3}$, $157,46 \mu\text{g m}^{-3}$, and $109,16 \mu\text{g m}^{-3}$, respectively; for benzene, the concentration exceeded the occupational exposure limit set by ACGIH. Regarding PAHs, only fluorene and phenanthrene were detected, with respective concentrations of $0,30 \mu\text{g m}^{-3}$ and $0,08 \mu\text{g m}^{-3}$. In terms of the human health risk assessment, the calculation of the excess cancer risk (CR) due to benzene exposure identified the highest probability of 2.14×10^{-4} , at levels above those recommended by US.EPA. The hazard index (HI) for exposure to BTEX was 1.15. The results of these concentrations and health risk assessments indicate that the population exposed to these compounds may develop health damage due to chronic exposure.

Keywords: Atmospheric Pollutants; Volatile Organic Compounds; Occupational Environments; Mechanical Workshop; Human Health Risk Assessment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Transferência entre poluentes no ambiente interno e externo.	25
Figura 2 - Concentrações de COVS por tipo de material construtivo.	28
Figura 3 - Casos de câncer ocupacional X associação com benzeno.	37
Figura 4 - Fases da toxicologia.	39
Figura 5 - Exemplo de COVs com emissão em ambientes internos.	42
Figura 6 - Produção de produtos perigosos na União Europeia de 2004 a 2022.	46
Figura 7 - Estruturas dos 16 HPAs prioritários pela US.EPA.	51
Figura 8 - Fluxograma de uma retífica de motor.	58
Figura 9 - Exemplo da composição básica de um motor.	59
Figura 10 - Perímetro urbano onde fica localizada a retífica objeto deste estudo.	62
Figura 11 - Croqui da retífica de motores.	63
Figura 12 - Setor de lavagem das peças e motores da retífica.	64
Figura 13 - Recipiente com a mistura de gasolina e diesel que é utilizado na limpeza. ...	65
Figura 14 - Recipiente com a mistura de gasolina e diesel após algumas lavagens.	65
Figura 15 - Virabrequim com resíduos de óleos e combustíveis.	66
Figura 16 - Biela do virabrequim com resíduos de óleos e combustíveis.	66
Figura 17 - Tampa do cabeçote com resíduos de óleos e combustíveis.	67
Figura 18 - Detalhamento do cartucho de adsorvente de BTEX.	68
Figura 19 - Armazenamento das amostras após as coletas no ambiente.	69
Figura 20 - Exemplo do cartucho adsorvente HPA usado na coleta.	70
Figura 21 - Bombas de amostragem de BTEX e HPA parte 1.	71
Figura 22 - Bombas de amostragem de BTEX e HPA parte 2.	72
Figura 23 - Bombas de amostragem de BTEX e HPA parte 3.	72
Figura 24 - Croqui com a indicação dos pontos de amostragem de ar.	73
Figura 25 - Fluxograma de amostragem e extração - BTEX e HPAs.	74
Figura 26 - Diagrama de funcionamento cromatografia gasosa (CG) e espectrometria de massa.	75
Figura 27 - Cromatógrafo a gás e espectrômetro de massas utilizado na análise das amostras de HPA e de BTEX.	75
Figura 28 - Boxplot das concentrações de BTEX por ponto de amostragem.	86

Figura 29 - Correlação de spearman dos compostos BTEX 90

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Distribuição da frota de automóveis no Brasil em 2023.	55
Gráfico 2 - Idade média da frota de automóveis no Brasil (2014 -2023).	56
Gráfico 3 - Distribuição mássica da composição média de BTEX nos três pontos.	87
Gráfico 4 - Distribuição mássica da composição média de BTEX por ponto de amostragem	88
Gráfico 5 - Comparação da Médias de benzeno por ponto de amostragem com o limite de exposição ocupacional da ACGIH e NR 15	91
Gráfico 6- Comparação da Médias de benzeno por ponto de amostragem com o limite de exposição ocupacional da ACGIH	92
Gráfico 7 - Boxplot fenantreno e fluoreno por ponto de amostragem	99
Gráfico 8 - Distribuição da mássica da média de fluoreno e fenantreno.	100
Gráfico 9 - Distribuição da mássica da média de fluoreno e fenantreno em P1, P2 e P3.	101
Gráfico10 -Correlação de spearman dos compostos fluoreno e fenantreno.	103

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Fontes de poluição do ar em microambientes urbanos	21
Tabela 2 - Comparativo de avaliações de poluentes atmosféricos em ambientes internos (AI), em concentrações de $\mu\text{g m}^{-3}$	26
Tabela 3 - Concentrações médias antes e depois da reforma nas habitações	30
Tabela 4 - Padrões de qualidade do ar interno segundo guia da OMS	31
Tabela 5 - Cruzamento dos CIDs X Doenças relacionadas ao trabalho para os poluentes BTEX e HPAs	35
Tabela 6 - Estudos x fontes de emissão de poluentes internos em ambientes internos ocupacionais (AIO)	38
Tabela 7 - COVs x Classificação junto a IARC.	43
Tabela 8 - Produção de BTEX nos Estados Unidos	45
Tabela 9 - Indicadores biológicos de exposição excessiva (IBE/EE) – Ocupacional ..	47
Tabela 10 - Limites de exposição ocupacional (LEO).	49
Tabela 11 - HPAs e suas respectivas classificações junto a IARC	52
Tabela 12 - Distribuição das retíficas de motores no Brasil, ano-base 2018	57
Tabela 13 - Distribuição das retíficas de motores no Brasil, ano-base 2022	57
Tabela 14 - Limite e detecção e quantificação estabelecidos	76
Tabela 15 - Total de amostras coletadas por ponto de amostragem	81
Tabela 16 - Concentrações médias, máximas, mínimas, desvio padrão e mediana para 82 as amostras de BTEX	
Tabela 17 - Concentrações médias, máximas, mínimas, desvio padrão e mediana para as amostras de BTEX (conclusão)	
Tabela 18 - Concentração média de BTEX de todos os pontos de amostragem	87
Tabela 19 - Concentrações de benzeno acima do limite de exposição ocupacional e do nível de ação	93
Tabela 20 - Comparativa entre as concentrações médias de BTEX ($\mu\text{g m}^{-3}$) realizadas em ambientes ocupacionais	95
Tabela 21 - Concentrações médias, máximas, mínimas, desvio padrão e mediana para 97 as amostras de HPAs - parte 1.	
Tabela 22 - Concentração média de HPAs de todos os pontos de amostragem	99

Tabela 23 - Comparativo entre as concentrações médias de HPAs ($\mu\text{g m}^{-3}$) e demais estudos.	104
Tabela 24 - Resultados do cálculo do risco excessivo de câncer (CR) para a exposição ao Benzeno	106
Tabela 25 - Resultado dos quocientes de perigo (HQ) de BTEX	107
Tabela 26 - Resultado do índice de perigo (HI)	108
Tabela 27 - Características do benzeno (parte 1)	135
Tabela 28 - Características do benzeno (conclusão)	136
Tabela 29 - Características do tolueno (parte 1)	137
Tabela 30 - Características do tolueno (conclusão)	138
Tabela 31 - Características do etilbenzeno (parte 1)	139
Tabela 32 - Características etilbenzeno (conclusão)	140
Tabela 33 - Características do xileno e seus isômeros (parte 1)	141
Tabela 34 - Características xileno (conclusão)	142

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACGIH	<i>American conference of governmental industrial higienists</i>
AI	Ambiente interno
AIO	Ambiente interno ocupacional
APAREM	Associação Paulista de Retifica de Motores
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
BTEX	Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xilenos
bq m ⁻³	becquerel por m ³
CID10	Classificação Internacional de Doenças
COVs	Compostos orgânicos voláteis
CNAE	Classificação Nacional de Atividades Econômicas
EPP	Empresas de Pequeno Porte
EUA	Estados Unidos
HPAs	Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos
IARC	<i>International Agency for Research on Cancer</i>
IBE/EE	Indicadores Biológicos de Exposição Excessiva
LD	Limite de detecção
LDRT	Lista de Doenças Relacionadas ao Trabalho
LEO	Limites de exposição ocupacional
LQ	Limite de quantificação
LT	Limite de tolerância
µg m ⁻³	microgramas por metro cúbico
mg m ⁻³	miligramas por metro cúbico

ME	Microempresas
NR	Norma Regulamentadora
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
OIT	Organização Internacional do Trabalho
OMS	Organização Mundial da Saúde
OPS	Organização pan americana da saúde
OSHA	<i>Occupational Safety and Health Administration</i>
ppm	Partes por milhão
PV	Pressão de vapor
RAGS	<i>Risk Assessment Guidance for Superfund</i>
RAIS	Relação Anual de Informações Sociais
SBE	Síndrome do edificio doente
SNC	Sistema Nervoso Central
TLVS	<i>Threshold Limit Values</i>
TVOC	Compostos Orgânicos Voláteis Totais
TWA	<i>Time-Weighted Average</i>
US.EPA	<i>United States Environmental Protection Agency</i>

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	15
1 OBJETIVOS	19
1.1 Objetivo geral	19
1.2 Objetivos específicos	19
2 REFERENCIAL TEÓRICO	20
2.1 Poluição atmosférica	20
2.2 Qualidade do ar externo.	23
2.3 Qualidade do ar interno geral (AI)	24
2.4 Qualidade do ar interno ocupacional (AIO)	32
2.5 Poluentes atmosféricos e seus aspectos toxicológicos	39
2.6 Compostos orgânicos voláteis	41
2.7 Benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos (BTEX)	44
2.8 Discussão sobre limites de exposição ocupacional (LEO)	47
2.9 Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos – HPAs	50
2.10 Métodos para coleta dos contaminantes no ar	53
2.11 Avaliação de risco	53
2.12 Oficina mecânica - retifica de motores	54
3 METODOLOGIA	61
3.1 Seleção e descrição do local	61
3.2 Descrição do fluxo de processos da retífica de motor	64
3.3 Métodos para coleta do ar dos contaminantes	67
3.4 Amostragem de BTEX	67
3.5 Amostragem de HPAs	69
3.6 Caracterização do local de amostragem	70
3.7 Extração do BTEX e HPAs	73
3.8 Limite de detecção (LD) e limite de quantificação (LQ)	76
3.9 Avaliação de risco à saúde humana	76
3.10 Estimativa da concentração da exposição para avaliação de riscos de câncer	77
3.11 Riscos de câncer caracterizados pelo risco de unidade de inalação	78
3.12 Quociente do perigo (HQ)	79

3.13	Índice de perigo (HI)	80
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	81
4.1	Resultados BTEX	81
4.2	Comparação das concentrações de BTEX nos pontos de amostragem p1, p2 e p3	82
4.3	Comparação das concentrações médias de BTEX e limites de exposições ocupacionais	91
4.4	Comparação das concentrações médias de BTEX com estudos científicos	94
4.5	Resultados HPAs	96
4.6	Comparação das concentrações de HPAS nos postos de amostragem p1, p2 e p3	97
4.7	Comparação das concentrações médias de HPAS e limites de exposições ocupacionais	103
4.8	Comparação das concentrações médias de HPAS com estudos científicos	103
4.9	Resultado da avaliação de risco à saúde humana	104
5	CONCLUSÃO	110
6	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	113
	REFERÊNCIAS	114
	APÊNDICE A - CARACTERÍSTICAS DOS COMPOSTOS BTEX	135
	APÊNDICE B – RESUMO DOS METODOS DE COLETAS – BTEX E HPAs	143

INTRODUÇÃO

A contaminação do ar foi responsável por cerca de 3,3 milhões de mortes no mundo, decorrentes de doenças cardiovasculares em 2016. (HADLEY *et al.*, 2018). Quase toda a população do mundo (99%) respira ar que excede os limites de qualidade recomendados pela Organização Mundial da Saúde (OMS), o que ameaça a saúde global (OPAS, 2022).

A poluição atmosférica pode afetar a população através da exposição ao ar livre ou em ambientes internos. De acordo com estudos realizados pela *United States Environmental Protection Agency* (US.EPA, 2004), os níveis de poluição do ar interior podem ser de duas a cinco vezes maiores do que os encontrados ao ar ambiente devido à presença de várias substâncias orgânicas (Machado, 2003) A qualidade do ar interior influencia significativamente o bem-estar humano e desempenho no trabalho (ARFAEINIA *et al.*, 2017).

De acordo com Choi *et al.* (2014) e Samet e Spengler (2003), os adultos passam aproximadamente 80 a 90% do seu tempo diário em ambientes internos. Um outro estudo realizado pela Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), indicam que a média anual de trabalho da população dos países-membros é de 1716 horas isso corresponde a 20% do total das horas do ano (OCDE, 2021).

Um estudo conduzido por Pega *et al.* (2021) indicou que, em 2016, aproximadamente 488 milhões de pessoas em todo o mundo foram expostas a jornadas de trabalho prolongadas (≥ 55 horas/semana). Esse dado está correlacionado com as informações apresentadas pela OCDE, demonstrando que uma parcela significativa de nossas horas é dedicada ao ambiente laboral.

Dapper *et al.* (2016) destacam que, ao abordar a poluição do ar, é importante considerar não apenas os ambientes externos e internos comuns, mas também os ambientes ocupacionais, onde a exposição a contaminantes pode ser significativa.

De acordo com a Organização Mundial da Saúde (WHO, 2014), uma em cada oito mortes no mundo é causada pela poluição do ar. A OMS também afirma que metade dessas mortes está relacionada à poluição em ambientes internos.

Segundo a Organização Internacional do Trabalho (OIT, 2017) estima-se que anualmente existam cerca de 160 milhões de vítimas de doenças relacionadas ao trabalho em todo o mundo. Em 2015, aproximadamente 2,78 milhões de mortes anuais foram atribuídas às

condições de trabalho, sendo que a maior parcela dessas mortes, cerca de 2,4 milhões (86,3%), resultou de doenças relacionadas ao trabalho.

A exposição ocupacional é um fator de risco significativo para o câncer de pulmão em não fumantes, contribuindo para aproximadamente 17-29% dos casos de câncer de pulmão. Os cânceres de pulmão são particularmente preocupantes em relação às exposições ocupacionais, pois é a principal via de entrada para muitas substâncias presentes no local de trabalho. (INCA, 2021)

Os compostos orgânicos voláteis (COVs) são comumente encontrados tanto em ambientes internos quanto externos, sendo emitidos por diversas fontes, o que torna a exposição a esses compostos quase inevitável (Carvalho, 2016). De acordo com Cafer (2023), os compostos benzeno, tolueno, etilbenzeno e isômeros de xileno, conhecidos coletivamente como BTEX, são frequentemente utilizados como indicadores de exposição a compostos orgânicos voláteis (COVs).

Estudos indicam que os compostos BTEX, por serem um grupo de hidrocarbonetos aromáticos com propriedades específicas, têm o potencial de causar toxicidade crônica, mesmo quando presentes em baixas concentrações (FIGUEIREDO, 2018) Assim como os BTEX, os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) são poluentes onipresentes em ambientes internos e externos, cuja ocorrência tem se tornado motivo de preocupação devido à sua abundância e ao potencial carcinogênico em humanos (AZEVEDO, ARAÚJO, SILVA, 2013).

A gasolina e o diesel geralmente contêm HPAs em abundância, em particular os homólogos alquilados de naftaleno, fenantreno e fluoreno. Embora a maioria dos óleos lubrificantes contenha apenas concentrações muito baixas de HPAs, o óleo lubrificante usado pode se tornar perigoso, uma vez que geralmente é contaminado por HPAs de baixo peso molecular e HPAs pirogênicos de alto peso molecular provenientes de óleo combustível não queimado e resíduos de combustão (YANG *et al*, 2016)

Na Alemanha, imputa-se a apenas quatro substâncias químicas a responsabilidade por mais de 90% dos casos de cânceres atribuídos à exposição ocupacional: asbestos; aminas aromáticas; hidrocarbonetos policíclicos (HPAs) e benzeno (DESCHAMPS *et al.*, 2006)

Os trabalhadores em oficinas mecânicas de automóveis estão expostos a misturas químicas complexas, incluindo produtos petroquímicos, que possuem potenciais efeitos genotóxicos, e vapores de gasolina, classificados como cancerígenos para os seres humanos. Esses mecânicos estão expostos a exaustão de gasolina, gasolina líquida, combustível diesel e

outros solventes derivados do petróleo, como óleos, lubrificantes, penetrantes, adesivos, limpadores de freio, limpadores de carburador, limpadores de contato, tinta spray e solventes de lavagem de peças (ZHANG *et al.*, 2013).

Santos *et al.* (2020) realizaram um estudo para identificar a mortalidade por câncer de profissionais que atuam em mecânica, incluindo mecânicas de automóveis, comparando-os com a população não exposta aos poluentes relacionados em oficinas. Esse trabalho fez uma ampla análise de dados epidemiológicos e concluiu que este grupo profissional tem maior risco de morrer por leucemia mieloide, câncer de bexiga, pulmão, pâncreas e do trato respiratório superior. Isso demonstra que esse tipo de ambiente tem características agressivas e que demanda maior estudo para o entendimento dessas fontes de risco.

As atividades de qualquer atividade empresarial são classificadas junto ao CNAE (Classificação Nacional de Atividades Econômicas) que é um sistema de codificação utilizado no Brasil para categorizar todas as atividades econômicas exercidas no país (IBGE, 2024). As atividades relacionadas a oficinas mecânicas estão diretamente relacionadas a seguinte classificação: reparação de veículos automotores e motocicletas. Segundo a relação anual de informações sociais (RAIS), em 2021, existiam 1.436.240 estabelecimentos atuantes nesse escopo, tendo um total de trabalhadores definidos em 9.454.656.

Segundo pesquisas do SEBRAE (2023), 99% dos negócios no país são constituídos por Microempresas (ME) e Empresas de Pequeno Porte (EPP), que também são responsáveis por mais de 50% dos empregos formais. As atividades das oficinas, em sua maioria, estão listadas nesse aspecto cadastral.

Considerando a estreita relação entre a exposição à poluição atmosférica em ambientes externos e internos, especialmente em ambientes ocupacionais, é essencial compreender a conexão entre as fontes de poluição e o impacto na população exposta. Dessa forma, torna-se crucial determinar as suas fontes, concentrações e os impactos na saúde dos grupos expostos. Além disto é direito de todos os cidadãos do mundo ter um trabalho seguro e saudável, sendo inclusive um dos Princípios e Direitos Fundamentais da OIT (OIT, 2022) e previsto inclusive no Objetivo Sustentável 3 da ONU, quando cita meta 3.9 reduções de mortes e doenças causadas pela poluição do ar (ONU BRASIL, 2024).

Dado que 50% das ocupações formais estão em organizações de menor porte, que existe uma ampla distribuição dos compostos orgânicos voláteis nos ambientes internos e ocupacionais e que há evidências que a exposição a esses compostos geram danos à saúde, especialmente em oficinas mecânicas, este estudo avaliará a concentração atmosférica dos compostos orgânicos voláteis, limitando-se ao Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xileno

(BTEX) e aos HPAs. O estudo será conduzido em uma oficina mecânica que realiza atividades de retífica de motores. Incluindo avaliação de risco à saúde dos indivíduos ocupacionalmente expostos neste ambiente. Esta pesquisa não só contribuirá para a compreensão das fontes e concentrações desses compostos em ambientes ocupacionais, mas também fornecerá dados fundamentais para a formulação de políticas públicas e estratégias de mitigação, visando a proteção da saúde dos trabalhadores e a melhoria das condições de trabalho em ambientes de oficinas mecânicas.

1 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar a concentração de compostos orgânicos voláteis (BTEX e HPAs) em um ambiente ocupacional *indoor*, correlacionando essa exposição a uma avaliação de riscos à saúde dos trabalhadores expostos.

2.2 Objetivos específicos

- Identificar e caracterizar as principais fontes de emissão de benzeno, tolueno, xileno, etilbenzeno e HPAs dentro da retífica de motores.
- Realizar a coleta de amostras de ar em diferentes pontos da retífica de motores e em diferentes períodos.
- Avaliar se a retífica de motores pode ser uma fonte epidemiológica para exposição a Benzeno.
- Comparar os resultados obtidos com os dados disponíveis na literatura científica, destacando semelhanças e divergências.
- Avaliar a conformidade dos resultados com os limites de exposição ocupacional estabelecidos por normativas nacionais e internacionais
- Utilizar os dados de concentração dos compostos químicos monitorados para realizar uma avaliação de risco à saúde dos trabalhadores expostos.
- Identificar potenciais impactos à saúde, decorrentes da exposição crônica aos compostos estudados, utilizando modelos de avaliação de risco.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Poluição atmosférica

A estrutura da atmosfera terrestre é composta por várias camadas distintas, cada uma com características específicas em termos de composição, temperatura, pressão e fenômenos que ocorrem dentro dela. Estas camadas são: exosfera, termosfera, mesosfera, estratosfera e troposfera. A troposfera é a camada mais baixa, a qual se estende da superfície da Terra até a tropopausa, em uma altitude definida entre 10 e 15 km. Esta camada é de particular interesse devido à sua concentração significativa de poluentes atmosféricos (SILVA, 2022; DUTRA *et al*, 2019).

A poluição do ar é um fenômeno antigo, principalmente associado às atividades antrópicas modernas (MOSLEY, 2001; DUTRA *et al*, 2019). Contudo, a partir do início da Revolução Industrial, houve um aumento significativo na emissão de poluentes atmosféricos, consequência do modelo de produção baseado no consumo intensivo. Esse incremento está diretamente relacionado ao desenvolvimento industrial e urbano, que intensificou a liberação de substâncias nocivas na atmosfera, agravando os problemas ambientais e de saúde pública.

A definição de poluição atmosférica pode ser compreendida a partir de uma perspectiva legal, conforme descrito na Resolução CONAMA Nº 506 DE 05/07/2024

Qualquer forma de matéria em quantidade, concentração, tempo ou outras características, que tornem ou possam tornar o ar impróprio ou nocivo à saúde, inconveniente ao bem-estar público, danoso aos materiais, à fauna e flora ou prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade ou às atividades normais da comunidade; (CONAMA, 2024).

Como este trabalho visa promover a avaliação de poluentes atmosféricos em ambientes *indoors* ocupacionais, os quais estão diretamente associados à exposição a compostos químicos, é importante considerar a percepção do estudo realizado por Esmaelnejad *et al.* (2015), que cita que a poluição do ar em ambientes de trabalho é entendida como a deterioração das condições do ar no ambiente de trabalho, o que leva à piora da saúde dos trabalhadores.

Moura *et al.* (2022), demonstram que o número de fontes poluidoras tem uma variação ampla, influenciada por diversos fatores e que existem fontes naturais e antrópicas. A antrópica está segmentada em duas classes: fontes móveis e estacionárias. O Programa

Nacional Ar Puro (PRONAR) define as respectivas fontes de poluição da seguinte maneira: fontes fixas são aquelas que emitem poluentes na atmosfera a partir de um ponto específico e estacionário, como uma chaminé ou um flare. Já as fontes móveis, por outro lado, são aquelas que se deslocam dinamicamente pelo território, tornando inviável ou impraticável a avaliação de cada fonte individualmente, como no caso dos veículos automotores.

As principais fontes de emissões móveis são os veículos automotores como carros, caminhões, tratores dentre outros (SILVA *et al*, 2022). A Tabela 1 apresenta um levantamento feito pela OMS, listando algumas fontes de emissões e seus poluentes

Tabela 1 - Fontes de poluição do ar em microambientes urbanos

Microambiente	Fontes	Poluentes
Casa	Cozinhar, aquecimento, veículos estacionados, <i>hobbies</i> , fumo, produtos domésticos, animais de estimação, roedores, insetos	MP, CO, NO _x , COVs, alérgenos
Ambientes de transporte	Emissões de veículos e indústrias, poeira das estradas, poluição de fundo, fumo	MP, incluindo MP ultrafinas, CO, NO _x , O ₃ , COVs, aeroalérgenos, carcinógenos
Ruas	Emissões de veículos, poeira das estradas, poluição de fundo	MP, incluindo MP ultrafinas, CO, NO _x , O ₃ , COVs, carcinógenos, chumbo
Ambientes de entretenimento	Cozinhar e aquecimento, poluição de fundo, fumo	MP, COVs, carcinógenos
Ambientes de trabalho	Processos industriais, fumo, poluição de fundo	PM, CO, COVs, NO _x , carcinógenos

Fonte: WHO, 2021.

A Tabela 1 apresenta que as fontes podem ser origem externa, interna e de ambientes de trabalho (ocupacional). Isso evidencia que a exposição humana a poluentes atmosféricos é o resultado de uma combinação de fontes exógenas (externo) e endógenas (interno).

Segundo Caselli *et al.* (2010), diversos poluentes são emitidos na atmosfera devido à volatilização e combustão de combustíveis fósseis, incluindo COVs e HPAs. Esses poluentes são tóxicos e altamente reativos, contribuindo para a formação de poluentes secundários na atmosfera. Destacam-se entre os principais poluentes atmosféricos: dióxido de carbono (CO₂), o monóxido de carbono (CO), os óxidos de nitrogênio (Nox), o dióxido de enxofre (SO₂) e os materiais particulados.

O Material Particulado (MP) é entendido como uma mistura de partículas líquidas e sólidas que ficam em suspensão, sendo estas divididas em frações de tamanho: partículas grossas (2,5-10 μm), partículas finas ($\leq 2,5 \mu\text{m}$) - MP 2,5, partículas ultrafinas ($\leq 0,1 \mu\text{m}$), e o MP 10 ($\leq 10 \mu\text{m}$). A deposição deste material nos pulmões está amplamente associada ao seu tamanho, especialmente por atingir regiões pulmonares mais profundas (alvéolos) e por poderem se manter em suspensão por períodos maiores, além da possibilidade de serem transportados a maiores distâncias (CARDOSO, 2024).

Conforme observado por Liu (2022), os COVs dentre eles os HPAs também são encontrados com frequência na composição dos materiais particulados

De acordo com Seinfeld e Pandis (2016), deve-se destacar também que os poluentes são divididos em poluentes primários, que são emitidos diretamente na atmosfera, e poluentes secundários, que se formam na atmosfera através de reações químicas entre poluentes primários e outros componentes atmosféricos (SILVA, SILVEIRA, 2017).

Engel-Cox *et al.* (2013) indicam que a dispersão da pluma de poluentes atmosféricos e o estado de contaminação do ar são influenciados por diversos parâmetros inter-relacionados, tais como a presença e características das fontes emissoras, os níveis de concentração dos poluentes, a topografia da região, parâmetros meteorológicos e as particularidades da vizinhança.

Godish (2004) destaca que a poluição do ar não se restringe a ambientes externos, ocorrendo de maneira significativa em ambientes internos, sejam eles ocupacionais ou não conforme descrito pela OMS (WHO, 2014), uma em cada oito mortes no mundo é tem relação direta com poluição do ar, sendo metade dessas mortes ocorrendo devido à poluição em ambientes internos.

Com base nas diversas fontes listadas, a poluição atmosférica está diretamente associada ao tipo de poluentes e suas características, especialmente quanto à determinação da localização das fontes, suas características físico-químicas e a forma de dispersão. Essa condição pode ser facilitada quando se trata de uma fonte estacionária e/ou interna. No entanto, como destacado por Godish (2004), ambientes internos tendem a concentrar mais poluentes devido à ventilação limitada, que diminui a dispersão dos poluentes, e a atividades como combustão e evaporação, que contribuem para o aumento das concentrações de poluentes.

2.2 Qualidade do ar externo

No Brasil e no mundo, existem diversas legislações que tratam dos parâmetros de alguns dos principais poluentes atmosféricos externos. A Diretiva 2008/50/CE, traz uma definição bem clara nesse sentido, separando que tais padrões não se aplicam a locais de trabalho (ocupacionais), cabendo a estes os parâmetros relacionados a legislação de segurança e saúde locais (UNIÃO EUROPEIA, 2008)

No Brasil, esses parâmetros são regulados pela Resolução CONAMA Nº 506 DE 05/07/2024. Cabe destacar que esses parâmetros foram adotados com base nas recomendações propostas pela OMS em 2021. A Resolução estabelece parâmetros para os seguintes poluentes: Material Particulado - MP10 e MP2,5, Dióxido de Enxofre - SO₂, Dióxido de Nitrogênio - NO₂, Ozônio - O₃, Fumaça, Monóxido de Carbono - CO, Partículas Totais em Suspensão - PTS e Chumbo - Pb. Em complemento, foi adotado o Índice de Qualidade do Ar (IQAR), que é uma medida utilizada para comunicar ao público a qualidade do ar em uma determinada área e os possíveis impactos dessa qualidade na saúde humana.

Nos EUA, os padrões de qualidade do ar são definidos pela Lei do Ar Limpo, promulgada pelo Congresso Americano em 1990. Esta lei determina que a Agência de Proteção Ambiental (EPA) estabeleça Padrões Nacionais de Qualidade do Ar Ambiente (NAAQS) para seis poluentes principais, conhecidos como “poluentes critérios”. A lei define duas diretrizes nacionais de qualidade do ar ambiente: os padrões primários, que fornecem proteção à saúde pública, incluindo a proteção de populações “sensíveis”, como asmáticos, crianças e idosos, e os padrões secundários, que oferecem proteção ao bem-estar público, abrangendo a proteção contra a redução da visibilidade e danos a animais, plantações, vegetação e edifícios (EPA, 2024).

A Lei do Ar Limpo define tem como foco os seguintes poluentes: Monóxido de Carbono (CO), Chumbo (Pb), Dióxido de Nitrogênio (NO₂), Ozônio (O₃), Material Particulado (MP10 e MP2,5) e Dióxido de Enxofre (SO₂). Apesar de não haver na lei um parâmetro específico para fumaça, a EPA realiza seu monitoramento em tempo real, emitindo alertas. A EPA estabelece padrões de qualidade do ar, conhecidos como *US Air Quality Standards*.

A União Europeia dispõe de duas leis que tratam dos parâmetros de qualidade do ar, sendo elas: Diretiva 2008/50/CE e Diretiva 2004/107/CE. Essas diretivas têm uma amplitude maior em relação aos padrões americano e brasileiro, incluindo parâmetros para dióxido de

enxofre, dióxido de nitrogênio/óxidos de nitrogênio, material particulado (MP10, MP2,5), ozônio, benzeno, chumbo, monóxido de carbono, arsênio, cádmio, níquel e benzo(a)pireno. Em 2022, a União Europeia propôs rever seus parâmetros com base na última proposta de diretrizes de qualidade do ar emitidas pela OMS em 2021 (UNIÃO EUROPEIA, 2024).

A OMS publicou em 2021 a última versão do seu guia com as Diretrizes globais de qualidade do ar da OMS: material particulado (MP2,5 e MP10), ozônio, dióxido de nitrogênio, dióxido de enxofre e monóxido de carbono (WHO, 2021). Esse guia está sendo a referência para as revisões da União Europeia, foi utilizado pela EPA para rever seus parâmetros de particulado MP2,5 e vindo sendo adotado pelo CONAMA como base para revisão dos parâmetros.

2.3 Qualidade do ar interno geral (AI)

O estudo desenvolvido por Klepeis *et al.* (2001) descreveu que a população dos Estados Unidos passa, em média, 87% do tempo em ambientes fechados (principalmente na própria residência), uma proporção que é aproximadamente 10 vezes maior do que o tempo gasto ao ar livre.

Conforme descrito nos objetivos e na introdução, este estudo focará em um ambiente interno ocupacional (AIO). Sempre que for mencionado este ambiente, será utilizado a sigla AIO. Quando for a um ambiente interno em geral, será utilizada a sigla AI.

Os Compostos orgânicos voláteis (COVs) e compostos orgânicos semivoláteis (COSVs) estão entre as principais classes de compostos encontrados em ambientes internos. Eles são liberados por meio de emissões e lixiviação de materiais de construção, móveis e atividades humanas, como cozinhar, limpar e usar produtos de consumo (LIU, 2022). Goldstein *et al.* (2020), apresenta uma lista ampla e variada de fontes de emissões internas associadas a diversas classes químicas, dentre elas:

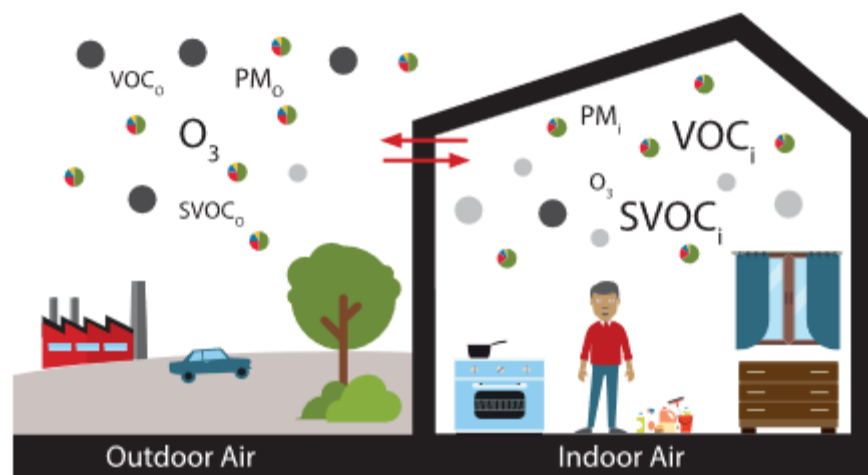
- Fontes típicas incluem plásticos e polímeros (emitindo plastificantes, retardantes de chamas, antioxidantes);
- Produtos de madeira prensada (formaldeído, ácidos orgânicos);
- Carpetes sintéticos (retardantes de chamas, agentes antimanchas, antioxidantes);

- Produtos de limpeza, fragrâncias (terpenoides prontamente oxidados em produtos indesejáveis);
- Eletrodomésticos (retardantes de chamas, partículas, graxas térmicas, óleos)
- Atividades ocupacionais (fumos de solda, solventes, particulados, gases)

Moura *et al.* (2022) citam que 72% da exposição a produtos químicos ocorre em ambientes internos, o que reforça a relevância da avaliação desses ambientes na identificação de componentes e na busca por minimizar e/ou controlar a exposição. O trabalho de McDonald *et al.* (2018), indica que a emissão de COVs em ambientes internos está contribuindo para o aumento da carga de poluentes externos, demonstrando assim a crescente sinergia entre as emissões internas e externas. Masih *et al.* (2017), citam que um outro aspecto considerável que influencia nos poluentes internos está associado à falta de ventilação adequada, diferentemente do que ocorre em áreas externas, onde se espera que tais contaminantes sejam diluídos devido à sua dispersão.

A Figura 1 busca ilustrar esse processo de transferência entre poluentes entre os ambientes internos e externos

Figura 1 - Transferência entre poluentes no ambiente interno e externo



Fonte: Goldstein, 2020.

De acordo com Wickliffe *et al.* (2020), a exposição prolongada a COVs específicos no ar interno residencial pode aumentar significativamente os riscos à saúde a longo prazo. Este estudo, conduzido no sudeste da Louisiana, destaca a importância de monitorar e controlar a qualidade do ar em ambientes internos para mitigar esses riscos. Ressalta-se que a interação química nos ambientes internos é complexa e apresenta ampla variação quando comparada

com ambientes externos, gerando reações secundárias complexas e dinâmicas. Devido a essas características, foi criado o programa Indoor Chem, um conglomerado de cientistas que atuam exclusivamente em estudos relacionados aos poluentes internos.

A Tabela 2 apresenta o resultado de alguns estudos de monitoramentos da qualidade do ar em ambientes internos (AI):

Tabela 2 - Comparativo de avaliações de poluentes atmosféricos em ambientes internos (AI), em concentrações de $\mu\text{g m}^{-3}$

Poluentes	Local de amostragem - Ambiente interno residencial		
	Dai <i>et al.</i> 2017	Baberi <i>et al.</i> , 2022	Wickliffe <i>et al.</i> , 2020
m+p - xileno	2,09	-	39,56
o-xileno	0,81	3,85	32,59
Etilbenzeno	0,74	0,53	26,33
Tolueno	4,91	3,79	200,13
Benzeno	1,14	2,35	2,32

Fonte: Elaborada pelo autor.

Os três estudos apresentados na Tabela 2 foram realizados em ambientes residenciais, porém, em locais diferentes. O primeiro estudo foi conduzido na cidade de Louisiana, nos EUA, utilizando amostradores passivos de BTEX. Os amostradores foram posicionados nas áreas de estar das residências. O segundo foi realizado na cidade de Shiraz, Irã, empregando amostradores ativos e cartuchos adsorventes de carvão. O terceiro foi conduzido em Xangai, China, em residências que haviam passado por reformas completas há menos de um ano. As amostras foram coletadas com bombas de amostragem e cartuchos adsorventes de carvão, sendo realizadas em salas e quartos. O monitoramento foi efetuado após 12 horas de recinto fechado, simulando a precariedade da ventilação.

Todos os estudos detectaram a presença de BTEX, exceto m+p-xileno no trabalho realizado por Baberi *et al* (2022). Destaca-se a concentração no estudo chinês, especialmente devido à simulação das deficiências na circulação de ar no ambiente e ao fato de o ambiente ter sido recentemente reformado, o que pode indicar a influência dos materiais de construção nas emissões dos poluentes. Em todos os estudos, há considerações diretas quanto à inexistência de parâmetros legais internos, à relevância da falta e/ou dificuldade na realização da troca de ar desses ambientes, e à presença de materiais de construção emissores de COVs. Além disso, ressalta-se a ausência de regulamentação quanto às emissões desses compostos.

Carvalho (2016) realizou o monitoramento de BTEX em uma área externa na Cidade do Rio de Janeiro, especificamente em regiões de intensa movimentação de tráfego. As concentrações médias observadas foram as seguintes: benzeno $0,70 \mu\text{g m}^{-3}$, tolueno $5,43 \mu\text{g m}^{-3}$, etilbenzeno $3,44 \mu\text{g m}^{-3}$, m+p-xileno $1,52 \mu\text{g m}^{-3}$ e o-xileno $2,23 \mu\text{g m}^{-3}$. Comparando esses resultados com as concentrações indicadas na Tabela 3, é evidente que os ambientes internos apresentam concentrações superiores às das áreas externas. Por exemplo, a maior concentração de benzeno descrita na Tabela 3 é de $2,32 \mu\text{g m}^{-3}$, enquanto o estudo de Carvalho (2016) relatou $0,70 \mu\text{g m}^{-3}$. Isso indica que a concentração interna é aproximadamente 3,31 vezes maior que a externa. Este resultado corrobora com diversos artigos científicos que indicam que as concentrações de poluentes em ambientes internos podem ser de duas até cinco vezes superiores às de áreas externas (MACHADO, 2003; BABERI *et al.*, 2022; WICKLIFFE *et al.*, 2020).

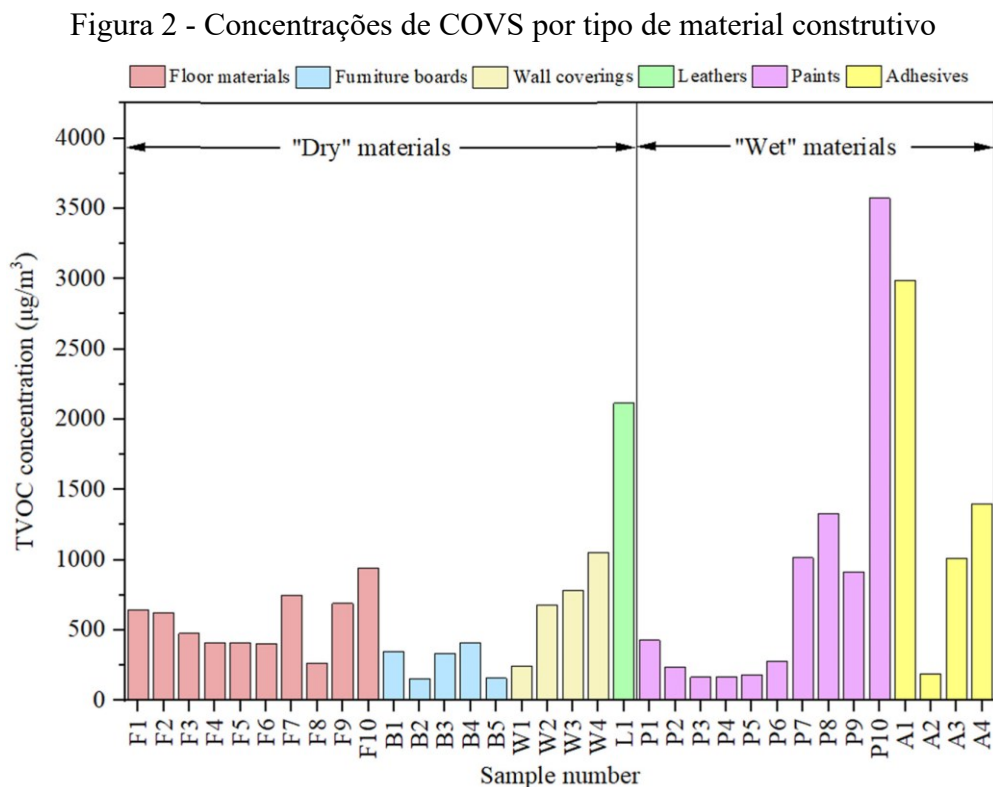
A poluição do ar interno é um fenômeno complexo, influenciado por diversos fatores físicos, químicos e biológicos. Esses fatores podem se combinar para deteriorar a qualidade do ar, agravados pela ineficiência na troca de ar entre os espaços e pelo uso contínuo de sistemas de climatização, como ar-condicionado (JURADO; BANKOFF; SANCHEZ, 2014). A exposição contínua a esses fatores pode desencadear o processo denominado pela OMS como Síndrome do Edifício Doente (SBS), que é um termo genérico usado para descrever uma situação em que os ocupantes de um edifício apresentam vários sintomas sem uma causa específica. Esses sintomas incluem dores de cabeça, tonturas, náuseas, fadiga e pele seca (JOSHI, 2008). No Brasil, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) estabeleceu a Resolução RE nº 09, de 16 de janeiro de 2003, que define padrões de qualidade do ar, porém limitados a ambientes climatizados artificialmente. Esta resolução é bastante limitada, abrangendo apenas contaminações microbiológicas por fungos e alguns parâmetros químicos, como dióxido de carbono e material particulado total (ANVISA, 2003).

Essa regulamentação é bastante limitada, não abrangendo a vasta gama de poluentes químicos que podem estar presentes nesses locais. A própria resolução menciona que nesses ambientes pode haver COVs, formaldeído, entre outros compostos.

Um estudo recente de Liang *et al.* (2024) analisou diversos materiais de construção comumente utilizados na China, como tintas, adesivos e painéis de madeira, para determinar suas emissões de compostos orgânicos voláteis (COVs) e odores. Os resultados indicaram que esses materiais emitem níveis significativos de COVs, o que pode impactar negativamente a qualidade do ar interno, especialmente em ambientes com ventilação inadequada.

A Figura 2 apresenta um Gráfico com a concentração de Compostos Orgânicos Voláteis Totais (TVOC) em diferentes materiais de construção. As amostras são divididas em “materiais secos” (*dry materials*) e “materiais úmidos” (*wet materials*). Os materiais secos incluem: revestimentos de parede, placas para móveis, couros e materiais para piso, os materiais úmidos incluem tintas e adesivos

As concentrações de TVOC para esses materiais variam, com a maioria das amostras apresentando valores entre 100 e 1000 $\mu\text{g m}^{-3}$. A amostra F10 (material de piso) e algumas amostras de placas de móveis (B5) apresentam concentrações relativamente mais altas dentro desta categoria, exceto por couro que apresenta a maior concentração. Por outro lado, os materiais úmidos exibem concentrações significativamente mais altas de TVOC, especialmente as amostras P10 (tinta) e A1 (adesivo), que ultrapassam 3000 $\mu\text{g m}^{-3}$. A concentração mais alta de TVOC é observada na amostra P10, que é uma tinta, alcançando quase 4000 $\mu\text{g m}^{-3}$



Fonte: Zhang *et al.* (2024).

Considerando que esses materiais são a base da maioria das edificações, é essencial que regulamentações mais abrangentes sejam implementadas para garantir a qualidade do ar interno.

O processo de cocção de alimentos tem sido amplamente estudado como uma fonte significativa de poluição interna, tanto em ambientes residenciais quanto ocupacionais. A queima de combustíveis sólidos domésticos e o aquecimento de óleos de cozinha e alimentos resultam na emissão de partículas e HPAs. Esses processos liberam uma quantidade considerável de poluentes, contribuindo para a degradação da qualidade do ar interno e representando riscos à saúde (STRAIF *et al.*,2006).

A OMS relata que poluição do ar doméstico causada pela combustão incompleta de combustíveis sólidos e querosene é responsável por 3,2 milhões de mortes prematuras a cada ano (WHO, 2024).

Ko *et al.* (2000), apresentam que a cocção de alimentos pode estar associada ao câncer de pulmão em mulheres não fumantes. O trabalho, publicado no *American Journal of Epidemiology*, indica que a exposição aos vapores e fumaças liberados durante o cozimento, especialmente em métodos de alta temperatura como frituras e grelhados, pode aumentar o risco de desenvolver câncer de pulmão, mesmo entre aquelas que não fumam.

Um fato não muito explorado nos trabalhos científicos, porém foi detalhado por Brown *et al.* (2015) que consiste na relação de que, como fatores socioeconômicos e de estilo de vida, influenciam a qualidade do ar interno. Foi demonstrado que certos fatores socioeconômicos, como renda e nível educacional, e aspectos do estilo de vida, como o uso de produtos de limpeza e baixas taxas de ventilação, têm uma correlação significativa com a qualidade do ar interno. Residências com menores rendas tendem a ter maior concentração de poluentes, devido ao uso de materiais de construção mais baratos e menos eficientes, assim como o uso com maior frequência de produtos químicos domésticos, cocção com combustíveis sólidos. Além disto, fatores como as características da ocupação também foram explorados os métodos de cocção: elétrico, gás ou outro material combustível.

Broderick *et al.* (2017) promoveram uma avaliação em residências na Irlanda que passaram por reformas visando melhorar sua eficiência energética. A pesquisa mediu poluentes como CO, MP2.5, CO₂, TVOCs, formaldeído, BTEX e NO₂, além de parâmetros térmicos, antes e depois das reformas. As modificações realizadas nos ambientes promoveram uma melhor estanqueidade, especialmente no conforto térmico. No entanto, tais ações reduziram significativamente a taxa média de troca de ar, com uma redução de cerca de 33%, o que se refletiu nos resultados dos poluentes conforme observado na Tabela 3.

A Tabela 3 demonstra que, exceto o etilbenzeno, todos os poluentes tiveram um aumento na concentração após a reforma (que reduziu a troca de ar), evidenciando a importância da ventilação em ambientes internos

Tabela 3 - Concentrações médias antes e depois da reforma nas habitações

Poluente	Antes	Depois
	Média	Média
MP _{2.5} (µg m ⁻³)	10,01	17,55
CO ₂ (ppm)	585,57	719,42
CO (ppm)	0,15	0,26
Formaldeído (ppb)	15,43	24,27
TVOC (ppb)	361,78	476,79
Benzeno (ppb)	0,43	0,53
Tolueno(ppb)	1,57	2,79
Etilbenzeno(ppb)	1,33	1,29
o- Xileno (ppb)	1,59	2,60
m+p - xileno (ppb)	1,18	1,34
NO ₂ (ppb)	6,95	7,64

Fonte: Elaborada pelo autor.

Mediante as evidências descritas até o momento, há uma complexidade em determinar parâmetros mínimos de limites para todos os poluentes atmosféricos internos. Isso se deve à amplitude desses poluentes e aos locais de sua deposição, que podem variar desde materiais de construção até métodos de cocção. Além disso, a interação entre os poluentes pode gerar poluentes secundários, e a taxa de ventilação e troca de ar nesses ambientes desempenha um papel crucial no controle dos poluentes

A OMS (2010) publicou um guia com diretrizes para qualidade do ar interno para os seguintes poluentes:

- Benzeno;
- Monóxido de carbono;
- Formaldeído;
- Naftaleno;
- Dióxido de nitrogênio;
- Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (especialmente benzo[a]pireno);
- Radônio;
- Tricloroetileno;
- Tetracloroetileno;

O guia apresenta diversos estudos epidemiológicos e a partir deles há definição de padrões, esses padrões são relatados na Tabela 4.

Tabela 4 - Padrões de qualidade do ar interno segundo o guia da OMS

Poluente	Referência
Benzeno	Nenhum nível seguro de exposição pode ser recomendado.
Monóxido de carbono	15 minutes – 100 mg m ⁻³ 1 hour – 35 mg m ⁻³ 8 hours – 10 mg m ⁻³ 24 hours – 7 mg m ⁻³
Formaldeído	0,1 mg m ⁻³ (concentração média de 30 minutos)
Naftaleno	0,01 mg m ⁻³ (concentração média anual)
Dióxido de nitrogênio	200 µg m ⁻³ – média de 1 hora. 40 µg m ⁻³ – média anual.
Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos	Nenhum limiar pode ser determinado e todas as exposições internas são consideradas relevantes para a saúde. O risco unitário de câncer de pulmão para misturas de HAP é estimado em $8,7 \times 10^{-5}$ por ng m ³ de pireno. As concentrações correspondentes para a exposição vitalícia a B[a]P, produzindo riscos de câncer ao longo da vida de 1/10.000, 1/100.000 e 1/1.000.000 são aproximadamente 1,2, 0,12 e 0,012 ng m ⁻³ , respectivamente.
Radônio;	O risco de morte por câncer de pulmão induzido pelo radônio ao longo da vida (até a idade de 75 anos) é estimado em $0,6 \times 10^{-5}$ por Bq/m ³ para não fumantes ao longo da vida e 15×10^{-5} por Bq/m ³ para fumantes atuais (15-24 cigarros por dia). Entre ex-fumantes, o risco é intermediário, dependendo do tempo desde a cessação do tabagismo
Tricloroetileno;	Estimativa de risco unitário de $4,3 \times 10^{-7}$ por µg m ⁻³ As concentrações de TCE (tricloroetileno) no ar associadas a um risco vitalício excessivo de câncer de 1:10.000, 1:100.000 e 1:1.000.000 são, respectivamente, 230, 23 e 2,3 µg m ⁻³
Tetracloroetileno;	0,25 mg m ⁻³ – média anual.

Fonte: WHO (2010).

A Tabela 4 padrões de qualidade do ar interno da OMS apresenta os limites específicos e estimativas de risco unitários para diversos poluentes com base em suas toxicidades e efeitos na saúde. Para benzeno e HPAs, não há níveis seguros de exposição recomendados devido ao risco de câncer, utilizando-se estimativas de risco unitário para a avaliação. Poluentes como monóxido de carbono, formaldeído, naftaleno e dióxido de nitrogênio têm limites específicos para diferentes períodos de exposição, protegendo contra efeitos agudos e crônicos. O radônio e o tricloroetileno são avaliados com base em riscos unitários, refletindo a ausência de limiares seguros de exposição. O tetracloroetileno possui um limite de concentração média anual para prevenir a exposição crônica. Esses parâmetros

são estabelecidos com base em evidências epidemiológicas e estudos sobre os efeitos desses poluentes na saúde humana.

2.4 Qualidade do ar interno ocupacional (AIO)

Consoante o já descrito, a população passa a maior parte de sua jornada diária em ambientes internos fechados. É possível segmentar essa dispersão do tempo, considerando que, além dos ambientes internos residenciais, destacam-se os ambientes internos ocupacionais (AIO), definidos pela *Occupational Safety and Health Administration* (OSHA) como locais onde os funcionários estão envolvidos em atividades relacionadas ao trabalho ou estão presentes como condição de seu emprego (OSHA, 2024). Apesar da definição da OSHA trazer uma relação bem clara associada ao trabalho formal, não se pode ignorar a existência de atividades ocupacionais informais. O IBGE indicou que, no primeiro trimestre de 2023, havia 39 milhões de brasileiros nessa condição, correspondendo a 39,1% do mercado de trabalho (IBGE, 2024).

Mendonça *et al.* (2018) oferecem uma reflexão profunda sobre a relação entre a atividade profissional e o indivíduo. Segundo os autores, a atividade profissional é crucial na formação do indivíduo, influenciando sua relação com a sociedade e a construção de sua identidade. O trabalho pode ser uma fonte de realização e saúde, ou de doença e sofrimento, pois as condições físicas, organizacionais e sociais do ambiente de trabalho impactam significativamente a saúde física, psicológica e social do trabalhador.

O estudo do ambiente ocupacional e sua relação com a saúde humana baseiam-se em diversos registros históricos, sendo um fator gerador e modificador das condições de vida e saúde do ser humano, observados desde a antiguidade greco-romana (FRIAS,1999). Esses registros destacam como as condições de trabalho impactam a saúde física, psicológica e social dos indivíduos.

É possível destacar alguns desses registros históricos como fundamentais para entender a evolução das práticas e das condições de trabalho ao longo do tempo.

- **Século IV a.C.:** Hipócrates investigou os efeitos nocivos do chumbo na saúde humana (Mendonça *et al.* (2018) apud Oliveira, 2001; Vidal, 2003).

- **Era Cristã:** Plínio relacionou os impactos do enxofre e do zinco na saúde e descreveu o uso de máscaras respiratórias rudimentares (Mendonça *et al.* (2018) apud Oliveira, 2001; Vidal, 2003).
- **Século XVI:** Geof Bauer, em seu livro "De Re Metalica", fez referência a doenças pulmonares em mineiros, descrevendo sintomas que hoje são atribuídos à silicose. (Mendonça *et al.* (2018) apud Oliveira, 2001; Vidal, 2003).

Outro marco histórico se dá em 1700 através da publicação do livro *De Morbis Artificum Diatriba* (As doenças dos trabalhadores), elaborado pelo médico italiano Bernardino Ramazzini. Nesse trabalho o próprio listou relação causal entre dois danos à saúde de 54 profissões, e inclusive já tendo a percepção dos impactos dos poluentes atmosféricos internos nas atividades.

Os dirigentes das minas, para purificar o ar ambiente confinado e poluído pelas emanações desprendidas da matéria mineral, pelas exalações dos corpos dos escavadores e pelas fumaças das luzes acesas, usavam máquinas pneumáticas cujos canos se comunicavam com o fundo da mina, retirando o ar viciado e substituindo-o por outro mais fresco e puro (RAMAZZINI, 2016)

"Convém desconfiar sempre que exista dano para os espíritos e humores nessas nefandas partículas absorvidas junto com o ar no ambiente de trabalho. Os químicos são dignos de louvor, porque não temem sacrificar suas vidas em benefício do bem público." (RAMAZZINI, 2016) (RAMAZZINI, 2016).

Apesar dos aspectos de saúde do trabalhador já terem sido pautados em períodos A. C, estes tiveram maior relevância quando da Revolução Industrial, sendo similar aos históricos da poluição do ar externo, o qual se iniciou uma preocupação maior inclusive com a criação das primeiras leis relacionadas ao controle da poluição a *Clean Air Act* em 1956 e o *Clean Air Act* em 1968. Em 1957, a OIT inicia as tratativas relativas às questões de saúde relacionadas ao ambiente de trabalho (JUNIOR, 1999; HUNTER, 2020).

No Brasil, pode-se entender como um marco histórico a criação da Consolidação das Leis do Trabalho, especialmente o capítulo V DA SEGURANÇA E DA MEDICINA DO TRABALHO, em 1977 (BRASIL, 1943). Este capítulo introduziu os primeiros padrões a serem seguidos pelas organizações em matéria de segurança e saúde no trabalho. Posteriormente, foram criadas as Normas Regulamentadoras (NRs), destacando-se a NR 15 - Insalubridade, que estabelece os limites de tolerância para exposição ocupacional a agentes químicos por via respiratória, levando em consideração os poluentes internos.

A história da poluição atmosférica e as questões de saúde do trabalhador estão intrinsecamente relacionadas, especialmente no contexto da poluição interna dos ambientes ocupacionais. Ambas refletem uma evolução das percepções e regulamentações sobre a saúde pública e a proteção dos trabalhadores contra riscos ambientais, isso pode ser observado por meio das relações das leis de proteções ora citadas.

Embora existam legislações voltadas para a proteção da saúde do trabalhador, sua efetividade é limitada, especialmente em países em desenvolvimento, onde apenas cerca de 10% da população trabalhadora é coberta por regulamentações de saúde e segurança ocupacional. Em contrapartida, essa cobertura é significativamente maior em países desenvolvidos. Estima-se que 2,1% de todas as mortes e 2,7% da carga de doenças no mundo possam ser atribuídos a riscos ocupacionais quantificados (INDUMATHY, GANDHIMATHI, KISHORE, 2023).

O relatório conjunto da OMS e da OIT (WHO/ILO, 2021), indica que a poluição do ar interno (poeiras, gases, vapores, fumos) é um dos principais fatores de risco ocupacionais, responsável por cerca de 450 mil mortes em 2016, representando a terceira maior taxa de mortalidade. Essas mortes estão associadas principalmente ao desenvolvimento de doenças pulmonares obstrutivas crônicas, com um risco aumentado de 58 a 182% em comparação à população não exposta.

Analisando os dados da Secretaria de Inspeção do Trabalho, órgão vinculado ao Ministério do Trabalho e Emprego do Brasil, e o anuário de acidentes e doenças do trabalho da Previdência Social, pode-se observar que há uma relação muito similar aos estudos da OIT.

Este trabalho tem como foco avaliar os compostos orgânicos voláteis (BTEX) e hidrocarbonetos policíclicos aromáticos. A Tabela 5 foi elaborada com base na identificação de doenças ocupacionais causadas por esses poluentes, levando em conta a correlação direta entre a Classificação Internacional de Doenças (CID-10) e esses compostos, tomando por base a relação causal descrita na Lista de Doenças Relacionadas ao Trabalho (LDRT), emitida pelo Ministério da Saúde (BRASIL. MS, 2023). Essa lista apresenta um total de 32 doenças que podem ter relação direta com a exposição à BTEX e HPAs.

Foram analisados os últimos dois anos de dados da Previdência Social (2022 e 2023), e os dados indicados são exclusivamente os que foram enquadrados como doença do trabalho (código B91), estes dados constam na Tabela 5.

Tabela 5 - Cruzamento dos CIDs X Doenças relacionadas ao trabalho para os poluentes BTEX e HPAs - parte 1

Poluente	CID	Descrição CID	Ano	Total de casos por ano
Benzeno	C34	C-34 Neoplasia maligna dos brônquios e dos pulmões	2023	26
			2022	18
	C83	Linfoma não-Hodgkin difuso	2023	1
			2022	1
	C91'	Leucemia linfoide	2023	12
			2022	11
	C92	Leucemia mieloide	2023	20
			2022	22
	C93	Leucemia monocítica	2023	1
	C94	Leucemias de células de tipo especificadas	2022	-
			2023	1
	C95	Leucemia de tipo celular não especificado	2022	-
	D46	Síndromes Mielodisplásicas	2023	5
			2022	5
	D61.9	Anemia aplástica	2023	6
			2022	1
	D69	Púrpura e outras afecções hemorrágicas	2022	6
			2023	9
	D70	Agranulocitose	2022	1
			2023	1
	D72.8	Transtornos especificados dos glóbulos brancos,	2022	2
			2023	1
	T52.1	Efeitos tóxicos de benzeno	2022	4
2023			-	

Tabela 5 - Cruzamento dos CIDs X Doenças relacionadas ao trabalho para os poluentes BTEX e HPAs (conclusão)

Poluente	cid	Descrição CID	Ano	Total de casos por ano
Tolueno	H91	Perda de audição ototóxica	2023	3
			2022	3
Xileno			2023	2
Hpa-Naftaleno	H30	Inflamação Coriorretiniana	2022	3

Fonte: BRASIL, Ministério da Previdência Social (2024).

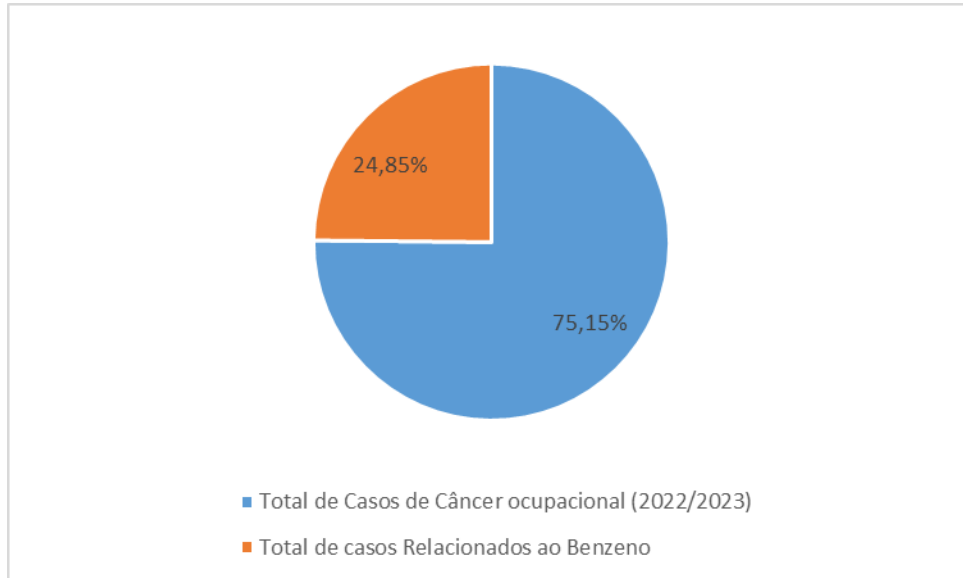
A análise da Tabela 5 que cruza CIDs e doenças relacionadas ao trabalho para os poluentes BTEX e HPAs, indica que vêm sendo notificados casos de doenças ocupacionais. No entanto, esses dados são limitados, especialmente por se tratar de uma análise de apenas dois anos e refletirem apenas os casos devidamente notificados e periciados junto à Previdência Social, não levando em conta as subnotificações. Um exemplo é o estudo de Vasconcelos (2017), que verificou uma subnotificação de mortes relacionadas ao trabalho em números sete vezes maior que os da Previdência Social. Esse fator também é corroborado por Rodrigues, Fleischmann e Santos (2019), que apresentaram uma relação de mortes relacionadas a doenças profissionais ou relacionadas ao trabalho na proporção de um para sete. Do total de mortes relacionadas, apenas 13% seriam relacionadas a acidentes, enquanto 87% estariam diretamente ligadas a doenças ocupacionais.

Aplicando a relação descrita por Rodrigues, Fleischmann e Santos (2019), aos dados de óbitos de 2022 relacionados ao trabalho, que totalizaram 2.538 (SMARTLAB,2024) e considerando uma taxa de subnotificação conforme citado por Vasconcelos, apenas em 2022 teríamos um total de óbitos real de 17.776, dos quais 15.545 estariam relacionados com doenças ocupacionais.

É possível verificar, no caso do benzeno, a confirmação da causalidade entre a exposição ocupacional e neoplasias, que, conforme descrito nos dados da Previdência, são todas malignas, além de danos hematológicos, como indicado pela ocorrência de doenças como leucemias. Os mesmos dados da Previdência (BRASIL, MPS, 2024) indicam que, em 2022 e 2023, foram notificados 507 casos de câncer ocupacionais, correlacionados entre os CIDs C00 e D48. Estratificando este total, verifica-se que 126 casos estão diretamente

relacionados com o benzeno, o que representa cerca de 24,85% do total, conforme listado no Gráfico da Figura 3.

Figura 3 - Casos de câncer ocupacional X associação com benzeno



Fonte: BRASIL, MPS, 2024.

Alguns dados da Previdência necessitam de maior investigação para determinação da sua causalidade. O tolueno, por exemplo, está fortemente associado a efeitos adversos no sistema nervoso central e, quando analisamos a lista nacional de doenças do trabalho, constam como CIDs associado ao tolueno vários códigos relacionados a episódios depressivos (F32). No entanto, não é possível determinar, ao analisar os dados da Previdência, quais desses efeitos têm uma relação direta com danos causados pelo tolueno.

Na Coreia do Sul, houve 29 casos que foram avaliados para cânceres ocupacionais relacionados com HPAs em 2000 a 2014. Dentre eles, 3 casos foram reconhecidos como cânceres ocupacionais relacionados aos HPAs (JANG *et al.*, 2018)

Assim como em ambientes internos gerais (AI), os ambientes internos ocupacionais (AIO) também possuem diversas fontes de poluentes. No entanto, nesses ambientes, a exposição é mais frequentemente ocorre em condições precárias de segurança e saúde ocupacional. Esse fator é inclusive um dos listados pela OIT como causa da precarização do ambiente de trabalho (MARTINS, OLIVEIRA, 2023).

A exposição ocupacional aos poluentes está diretamente ligada às substâncias envolvidas nas atividades e processos, os quais podem variar de acordo com suas atividades principais e secundárias. A Tabela 6 apresenta alguns estudos que identificaram o tipo exposição em relação às atividades e/ou processos.

Tabela 6 - Estudos x fontes de emissão de poluentes internos em ambientes internos ocupacionais (AIO)

Atividade ou processo	Poluentes	Via de exposição	Referencias
Postos de gasolinas	Compostos orgânicos voláteis dentre eles BTEX	Inalação e dérmica	MAHAPATRA; PRADHAN; PATNAIK, 2016
Indústria têxtil	Particulados e substâncias químicas tóxicas complexas (estimativa de uso de mais de oito mil produtos químicos.	Inalação e dérmica	TOUNSADI et al., 2020
Saúde	Substâncias antineoplásicos	Inalação	CORNETTA et al., 2008
Manutenção de veículos	Compostos orgânicos voláteis (BTEX), Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos, particulados,	Inalação e dérmica	Fichas SIT/MEI,2024
Construção civil	Particulados, e sílica	Inalação	

Fonte: Elaborada pelo autor.

Conforme observado na Tabela 6, a via de inalação é a principal forma de contato com as substâncias químicas. Isso é corroborado pelo estudo realizado em *Georgia Poison Center* (GPC) e pela *Occupational Safety and Health Administration* (OSHA) para melhorar a segurança dos trabalhadores expostos a produtos químicos no local de trabalho. Entre julho de 2014 e janeiro de 2016, o GPC reportou 953 exposições ocupacionais a produtos químicos, das quais 408 foram por inalação, correspondendo a 42,8% de todos os casos (TUSTIN *et al.*, 2018). Este mesmo estudo obteve dados de cinquenta e cinco centros regionais de veneno, similares aos centros de intoxicação no Brasil. Em um levantamento realizado em 2014, houve 2,2 milhões de chamadas relacionadas a intoxicações por agentes químicos, das quais 1,2% eram provenientes de exposições ocupacionais.

Outro estudo realizado por Litovitz *et al.*(1993) analisou os riscos agudos de intoxicação devidamente registrados na *American Association of Poison Control Centers*, este

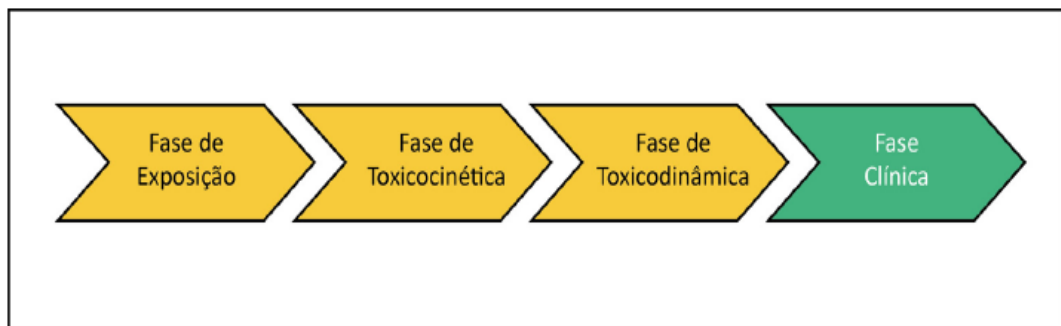
levantamento demonstrou que 79,% das notificações estavam relacionadas a exposições em ambientes ocupacionais, os quais os hidrocarbonetos, gases e vapores e substâncias químicas em geral estavam listadas como as principais fontes de exposição por inalação, o mesmo estudo demonstrou que os feitos mais graves na saúde se dão por conta das exposições ocupacionais.

2.5 Poluentes atmosféricos e seus aspectos toxicológicos

A inalação é a principal via de exposição aos poluentes, sendo assim o sistema respiratório tem uma relação direta na relação dose resposta do organismo, tendo em vista a penetração de agentes xenofóbicos, que são entendidos como substâncias químicas estranhas a um organismo ou sistema biológico (HUGHES *et al.*, 2008). Quando os poluentes são inalados, uma parte significativa deles pode entrar na corrente sanguínea através dos pulmões, podendo causar danos em diferentes partes do corpo (BROOK *et al.*, 2010).

Esse processo está associado diretamente aos conceitos de toxicologia, onde temos os processos de exposição, toxicocinética, toxicodinâmica e a fase clínica, os quais são listados na Figura 4.

Figura 4 - Fases da toxicologia



Fonte: Costa *et al.* (2019).

A exposição ocorre quando o poluente entra em contato com o organismo e para isso há diversos fatores que vão influenciar: a concentração do poluente, suas características físico-químicas, o tempo e a duração da exposição. A toxicocinética refere-se à

movimentação deste agente tóxico dentro do organismo, ou seja, sua absorção, distribuição pelos diferentes órgãos e tecidos, metabolização e eliminação. A toxicodinâmica refere-se aos efeitos biológicos e mecanismos de ação das substâncias tóxicas no organismo. A fase clínica consiste quando efetivamente surgem os efeitos clínicos no indivíduo (Hayes, 2007).

Para que o efeito a saúde seja observado (fase clínica), será necessário que fatores estejam presentes: as propriedades físico-químicas do agente, a concentração, as condições de exposição, metabolização e a suscetibilidade do organismo exposto (EATON; GILBERT, 2012). Oga (2008) cita que a absorção de gases ou vapores depende da sua solubilidade.

Quando inaladas, algumas moléculas gasosas podem ser retidas pela mucosa nasal e não alcançar os pulmões, especialmente se forem hidrossolúveis ou reagirem com os componentes da superfície celular. No entanto, com a exposição contínua, mais moléculas do agente são inaladas a cada inspiração e podem atingir os pulmões, daí as moléculas que chegam aos alvéolos pulmonares se difundem para o sangue, dissolvem-se, completando o processo de absorção, e são distribuídas para os tecidos.

Os HPAs e BTEX demonstram grande afinidade lipofílica, ou seja, são solúveis em gorduras e outros solventes apolares. Com isso, podem atravessar facilmente as membranas celulares, que são compostas principalmente por uma bicamada lipídica (MAZZEO, 2009).

Quando o corpo humano realiza qualquer atividade, ele requer o consumo de oxigênio do ar que respiramos. Quanto maior a atividade física, maior é o consumo de oxigênio e, conseqüentemente, a taxa de respiração. Em ambientes ocupacionais, onde as atividades frequentemente envolvem maior desgaste físico, espera-se uma taxa de respiração mais elevada, o que aumenta a absorção de poluentes (Oga, 2008). Para um trabalho considerado pesado, o volume de consumo de oxigênio é estimado em 59,2 litros por minuto. Considerando uma jornada de trabalho de oito horas diárias, isso equivale a 28,4 metros cúbicos (NIOSH, 2023). Comparando com a taxa de 16,3 metros cúbicos por dia para a faixa etária de 16 a 21 anos, estabelecida no Capítulo 6 do *Exposure Factors Handbook* da EPA (2023), observa-se uma diferença significativa, demonstrando que o aspecto ocupacional tem um impacto mais crítico na fase de exposição aos poluentes.

Os impactos dos poluentes na saúde podem ser de natureza aguda ou crônica. Os efeitos agudos aparecem pouco tempo após a exposição, variando de horas a dias. Em contraste, os efeitos crônicos são geralmente avaliados em estudos longitudinais que podem durar anos ou até décadas (ARBEX *et al.*, 2012). Há que se destacar a importância de analisar os efeitos aditivos e sinérgicos em decorrência dessa multiexposição (MARTIN, 2023).

No contexto toxicológico é importante ressaltar a presença dos biomarcadores que são utilizados no monitoramento da saúde humana que são divididos em três classes: de exposição, efeito e suscetibilidade. O conceito de biomonitorização implica a avaliação de exposição interna a substâncias perigosas medindo a produtos químicos, seus metabólitos ou produtos de reação no sangue humano, urina, saliva, expectoração e condensado do hálito exalado (BRUCKER *et al.*, 2020).

Dada a importância da inalação como principal via de exposição aos poluentes, a compreensão detalhada dos processos toxicológicos é fundamental para avaliar os riscos à saúde, identificar e determinar a relação entre as fontes e o grupo exposto, especialmente devido à possibilidade de ocorrência de múltiplas exposições as diferentes substâncias químicas. Muitas destas podem afetar o mesmo órgão alvo, e podem levar desta a forma a ocorrência de efeitos sinérgicos quando a mistura causa um efeito mais severo do que as substâncias isoladas (NASCIMENTO, 2017).

Nardocci (2010) e Zaher (2024) relatam a possibilidade de ocorrência de efeitos sinérgicos em relação aos HPAs e BTEX, considerando o elevado número de compostos e sua presença em várias misturas.

2.6 Compostos orgânicos voláteis

Os compostos orgânicos voláteis (COVs) são uma classe de produtos químicos orgânicos que contêm carbono em sua composição, excluindo deste grupo o monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), ácido carbônico (H₂CO₃), os carbonatos (CO₃²⁻) e os carbonetos metálicos (SILVA, 2014). Os COVs podem evaporar de vários líquidos ou sólidos à temperatura ambiente (pressão de vapor $\geq 0,01$ kpa a 20 °C) Com pontos de ebulição variando de 50–100 °C a 240–260 °C. Isso faz com que os líquidos ou sólidos constituintes evaporem ou sublimem prontamente um número significativo de moléculas no ar ambiente. Dispõem de moléculas de carbono de baixo peso molecular, que vaporizam em pressões usuais e possuem mobilidade e resistência aprimoradas à degradação, permitindo que sejam transportadas por longas distâncias no ambiente (LIU, 2022; HALIOS *et al.*, 2022).

Os COVs contribuem significativamente para a poluição do ar. Quando dispersos no ambiente, eles desencadeiam processos químicos que resultam na formação de ozônio ao nível do solo, um componente essencial da poluição por smog. O ozônio ao nível do solo pode causar dificuldades respiratórias, reduzir a produção agrícola e prejudicar habitats

naturais. Além disso, os COVs geram partículas químicas adicionais que contribuem para o aquecimento global e impactam a atmosfera (HUSSAIN *et al.*, 2024).

De acordo com Atkinson e Arey (2003), os COVs emitidos são constituídos principalmente por alcanos (com exceção do metano), alcenos, hidrocarbonetos aromáticos e compostos orgânicos oxigenados. Os COVs que serão explorados nesse trabalho são os BTEX e HPAs em suas respectivas fases gasosas

As maiores emissões de COVs são de origem antropogênica. Entre estas fontes, incluem-se sistemas sépticos, emissões de automóveis, cloração, extração de alimentos, fabricação e aplicação de pesticidas e fertilizantes, vaporização de combustíveis de hidrocarbonetos, gráficas, operações de empresas farmacêuticas, emissões de tintas, pesticidas, resinas, polímeros (LI, PAL, KANNAN, 2021). Os ambientes ocupacionais também representam uma fonte significativa nesse grupo (JIA *et al.*, 2010).

Sofuoglu *et al.* (2011) relatam que os níveis de COVs são geralmente mais altos em ambientes fechados do que em ambientes externos (Figura 5).

Figura 5 - Exemplo de COVs com emissão em ambientes internos



Fonte: Hussain *et al.*, 2024.

Segundo Kuranchie *et al.* (2019) a forma mais comum de exposição ao VOC é através da inalação, corroborando com os demais trabalhos científicos. As exposições aos COVs podem resultar em danos a saúde que podem ser agudos ou crônicos, sendo seus efeitos relacionados às características físico-químicas destes. Uma breve exposição pode levar a irritação do nariz, garganta e olhos, bem como sensações de náusea, tontura, dores de cabeça e respostas alérgicas. A exposição persistente ou recorrente a quantidades substanciais de COVs

pode resultar em problemas de saúde mais significativos, como lesões no sistema nervoso central (SNC), rins e fígado (RAO, VEJERANO, 2018).

Diversos COVs possuem propriedades cancerígenas, genotóxicas, mutagênicas e neurotóxicas. A exposição a esses compostos tem sido associada a um aumento na ocorrência de problemas respiratórios, cânceres, defeitos congênitos, deficits cognitivos e tumores em indivíduos (SCHNATTER, ROSAMILIA, WOJCIK, 2005, MELIKIAN *et al.*, 1999). A Tabela 7 apresenta a classificação de alguns compostos quanto ao seu potencial cancerígeno, com base na classificação da Agência Internacional de Pesquisa em Câncer (IARC)

Tabela 7 – COVs x Classificação junto a IARC

Compostos orgânicos voláteis	Classificação segundo a IARC
1,3-Butadieno	Grupo 1
Benzeno	Grupo 1
Etilbenzeno	Grupo 2B
Óxido de etileno	Grupo 1
Formaldeído	Grupo 1
Cloreto de metileno	Grupo 2B
Estireno	Grupo 2B
Tetracloroetileno	Grupo 2A
Tolueno	Grupo 3
Xileno	Grupo 3
Tricloroetileno	Grupo 1

Grupo 1 - O agente (mistura) é cancerígeno para humanos. Essa categoria é usada quando há evidência suficiente de carcinogenicidade nos humanos. Excepcionalmente, um agente (mistura) pode ser colocado nessa categoria quando a evidência em humanos é menor do que suficiente, mas há uma suficiente evidência de carcinogenicidade em experiências com animais e uma forte evidência, em humanos expostos, de que o agente (mistura) atua através de um mecanismo relevante de carcinogenicidade

Grupo 2 A - – O agente é provavelmente cancerígeno para humanos – Evidências limitadas de câncer em humanos. Evidências suficientes em animais experimentais.

Grupo 2 B - Possivelmente carcinogênico para humano, usada para agentes para os quais há uma evidência limitada de carcinogenicidade em humanos, mas há evidência menos que suficiente de carcinogenicidade em experiências animais.

Grupo 3 - O agente não é classificável como cancerígeno para humanos - Essa categoria é usada mais comumente para agentes para os quais a evidência de carcinogenicidade é inadequada para humanos e inadequada ou limitada em experimentos animais

Fonte: Adaptado de Hussain *et al.* (2024) e IARC (2024).

Os COVs estão presentes nas oficinas de veículos, ambiente que é objeto deste trabalho. Isso pode ser observado, por exemplo, nos estudos de Sanjuán-Herráez et al. (2012), que identificaram a presença de BTEX em duas oficinas de reparo de veículos em concentrações na faixa de 0,1 a 11,2 mg m⁻³ e de Wilson et al. (2007), que identificaram uma concentração de 36 mg m⁻³ para hexano, 50 mg m⁻³ para acetona e 10 mg m⁻³ para tolueno. A média de TVOC foi de 104,83 mg m⁻³.

Martins et al (2019) realizaram o monitoramento de BTEX em uma oficina de manutenção preventiva, o qual tinha como atividades: carpintaria, pintura e área de verniz. Este trabalho encontrou maiores concentrações de benzeno e tolueno na oficina de pintura, sendo 3,6 e 788,3 µg m⁻³, respectivamente. Para etilbenzeno, m+p-xilenos, as maiores concentrações foram encontradas na oficina de verniz respectivamente de 284,0, 484,6 e 265,9 µg m⁻³.

Moolla et al. (2015) conduziram as avaliações em uma garagem de ônibus, que executa o processo de reabastecimento, reparo e manutenção geral dos veículos. Neste estudo as concentrações de BTEX foram respectivamente: 3,86 µg m⁻³, 8,51 µg m⁻³, 2,48 µg m⁻³ e 15,30 µg m⁻³.

Esses três trabalhos demonstram que a exposição aos compostos orgânicos voláteis é ampla nos mais diversos ambientes ocupacionais, não se limitando apenas a um escopo de atividade.

2.7 Benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos (BTEX)

Este capítulo detalhará os aspectos relacionados às características físico-químicas e toxicológicas desses compostos.

Os compostos orgânicos voláteis Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xileno (o-xileno, m-xileno e p-xileno), ora conhecidos pela sigla BTEX, estão classificados como Hidrocarbonetos Aromáticos e por conta de suas características toxicológicas e sua ampla disseminação nos ambientes tornam estes relevantes para estudos de avaliação de risco e determinação da verificação da presença de poluentes (CARVALHO, 2016).

O benzeno é considerado o composto primário de seus derivados: tolueno, etilbenzeno e xilenos, que apresentam o hidrogênio do anel do benzeno substituído por grupos metil (-CH₃) ou etil (-CH₂-CH₃) (Figueiredo, 2018).

O tolueno é um alquilbenzeno, sendo diferente do benzeno em relação ao anel benzênico. Ele é um dos solventes mais utilizados, sendo encontrados em tintas, *thinners*, adesivos, colas e é misturado na gasolina com benzeno e xileno (MAZZEO, 2009).

O etilbenzeno é um solvente produzido pela alquilação do benzeno com etileno. Ele é comumente utilizado na produção de estireno e xileno técnico, servindo como solvente em tintas. Além disso, o etilbenzeno é frequentemente encontrado no petróleo bruto e em produtos refinados derivados do petróleo (FIGUEIREDO, 2018).

O xileno é um hidrocarboneto aromático composto por dois grupos metil ligados ao anel benzênico, apresentando três formas isoméricas distintas: orto, meta e para. A mistura desses isômeros é amplamente utilizada como solvente em diversas indústrias, especialmente na fabricação de tintas (Mazzeo, 2009).

A exposição combinada ao grupo BTEX representa riscos à saúde pública, eles têm alta pressão de vapor. Vários estudos demonstram as toxicidades dos BTEX, os quais se detalham que estes são absorvidos diretamente pelos pulmões, e depois são distribuídos em órgãos altamente vascularizados (cérebro e fígado) (ZHAO *et al.*, 2019; BOWEN *et al.* 2007; AYDIN *et al.*, 2002).

Cada um destes compostos dispõe de características específicas, sejam quanto a exposição aguda, crônica, classificação quanto a carcinogenicidade e limites de exposição ocupacional. Esse detalhamento consta no Apêndice A, o qual através deste permite-se uma avaliação criteriosa de cada um destes e observando suas particularidades.

Os BTEX são compostos orgânicos amplamente utilizados na indústria e no lar como intermediários químicos, solventes, aditivos de combustível e produtos de limpeza, o que leva à sua ampla disseminação, desde ambientes internos até ocupacionais (HUANG *et al.*, 2017). A Tabela 8 apresenta a produção desses compostos nos Estados Unidos em relação a um marco temporal específico inclusive o residual destes no ar, ora entendido como a expectativa de emissão destes diretamente no ar através das diversas fontes de emissão destes COVs.

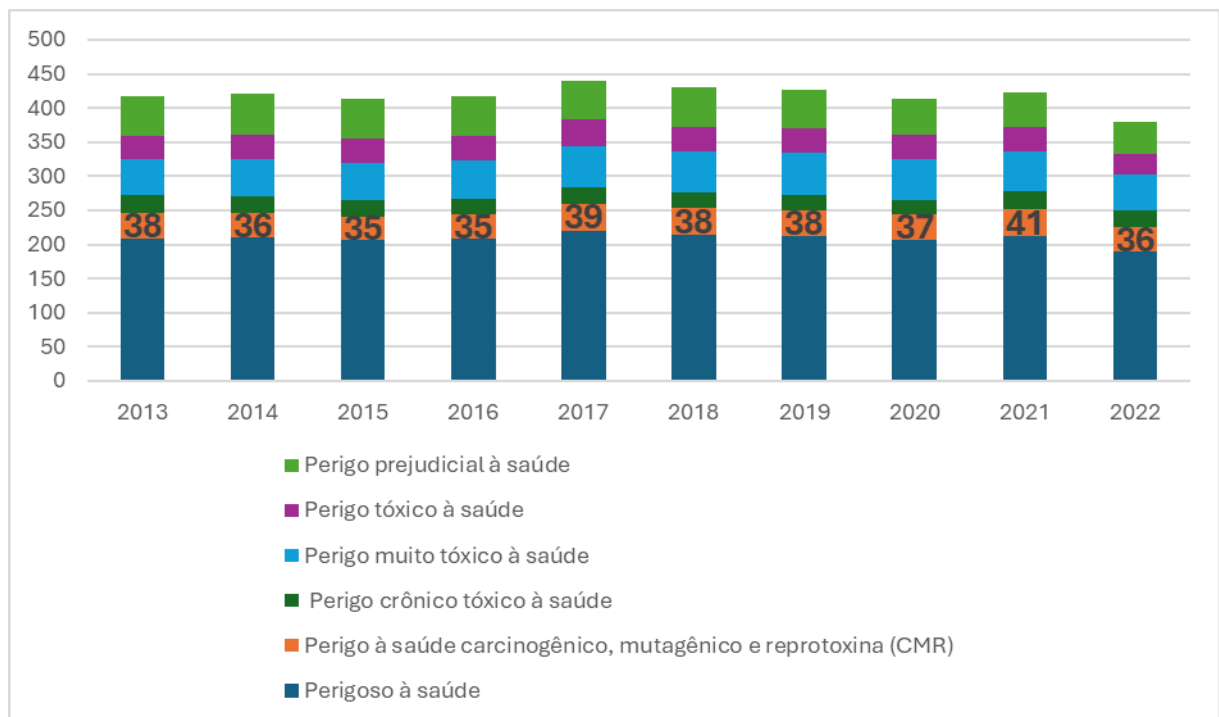
Tabela 8 – Produção de BTEX nos Estados Unidos

Compostos orgânicos voláteis	Produção (2009-2018)	Resíduo no ar
Benzeno	76,9 mil toneladas	1,45 mil toneladas
Tolueno	703,0 mil toneladas	7,62 mil toneladas
Etilbenzeno	42,1 mil toneladas	1,00 mil toneladas
Xilenos	184,5 mil toneladas	5,17 mil toneladas

Fonte: Davidson, Hannigan (2021).

Os dados de produção do BTEX contrastam com a produção da União Europeia de produtos químicos perigosos à saúde, conforme a Figura 6, ela demonstra a produção de produtos químicos perigosos na UE ao longo de um período de 9 anos, evidenciando uma tendência de estabilização. Ao analisar os dados dos compostos classificados como Perigo à Saúde CMR (Carcinogênico, Mutagênico e Reprotóxico), nos quais podemos enquadrar os BTEX, verifica-se também uma estabilização, com uma produção significativa tendo um pico em 2021 na ordem de 41 milhões de toneladas.

Figura 6 - Produção de produtos perigosos na União Europeia de 2013 a 2022 (milhões de toneladas)



Fonte: Eurostat, 2024.

Os BTEX possuem meias-vidas metabólicas que variam de 0,88 horas (rápida) a 19,2 horas (lenta). Esses dados são fundamentais para interpretar os níveis de substâncias químicas encontradas em amostras biológicas (como sangue ou urina). Para os BTEX, existem marcadores biológicos de exposição ocupacional que podem ser usados para verificar se está ocorrendo absorção, conforme descrito na Tabela 9. Ela traz os chamados Indicadores Biológicos de Exposição (IBE/EE), os quais são entendidos como um método de avaliar a absorção desses compostos pelo corpo. Quando identificados acima dos valores de referência,

podem indicar que as concentrações às quais aquele grupo está exposto estão acima dos limites de exposições ocupacionais (BRASIL, NR 07, 2024).

Tabela 9 - Indicadores biológicos de exposição excessiva (IBE/EE) – Ocupacional

Agente	Marcadores biológicos	Momento da coleta	Valor do IBE/EE
Benzeno	Ácido fenilmercaptúrico (SPMA) na urina ou	Final da jornada de trabalho	45 µg/g creat.
	Ácido transtrasmucônico (TTMA) na urina		750 µg/g creat.
Etilbenzeno	Soma dos ácidos mandélico e fenilglioxílico na urina	Final da jornada de trabalho	1,5 mg/g creat
Xilenos	Ácido metilhipúrico na urina	Final da jornada de trabalho	0,02 mg/L
Tolueno	Tolueno na urina ou	Início da última jornada de trabalho da semana	0,03 mg/L
	Tolueno no sangue ou		0,3 mg/g creat.
	Orto-cresol na urina		

Fonte: BRASIL, NR 07 (2024).

2.8 Discussão sobre limites de exposição ocupacional (LEO)

No Brasil, segundo a Norma Regulamentadora 15, legislação que tem como foco a determinação de atividades insalubres, o limite de tolerância é definido como: “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, 2022).

Esses limites foram estabelecidos em 1978, tendo como base os denominados *Threshold Limit Values* (TLVs) (Soto *et al.*, 2010). Essas diretrizes foram elaboradas por higienistas industriais da *American Conference of Governmental Industrial Hygienists* (ACGIH). O TLV tem uma definição com aspectos semelhantes ao conceito de Limite de Tolerância. Vide definição:

TLVS - a concentrações de substâncias químicas dispersas no ar representam condições sob as quais se supõe que a maioria dos trabalhadores podem estar expostos

repetidamente, dia após dia, durante toda uma vida de trabalho, sem sofrer efeitos adversos a saúde (ACGIH, 2024).

Estes parâmetros da ACGIH não são uma normativa legal, mas são recomendados e adotados por vários organismos internacionais. Nos EUA, são adotados pela OSHA, que seria o equivalente ao Ministério do Trabalho e Emprego no Brasil. No Brasil, esses parâmetros são a base dos limites de tolerância (Soto *et al.*, 2024). A ACGIH revisa os TLVs através de comitês que analisam aspectos toxicológicos, médicos, epidemiológicos e de higiene industrial. Essas revisões ocorrem periodicamente, e anualmente eles publicam um livreto com os TLVS.

Apesar de ser referência na determinação desses TLVs, há críticas quanto a esse processo, conforme descrito no artigo de Smith e Perfetti (2019). O artigo cita a falta de transparência dos dados e o baixo número de referências adotadas, limitando-se, às vezes, a um único estudo. Apesar das críticas, são limites adotados amplamente e comparados com os limites brasileiros, os TLVs ainda são um dos indicadores mais robustos, um exemplo é que os limites nacionais tiveram sua emissão em 1978, tendo poucas revisões.

Soto *et al.* (2010) demonstram a discrepância entre a legislação nacional (NR 15) e os limites de tolerância (LTs) da ACGIH de 2010, onde 52,3% dos LTs da NR 15 estavam acima dos TLVs. Desses, 2% estavam 100 vezes acima, 11% entre 30 e 99 vezes, 3% entre 10 e 30 vezes, 8% entre 3 e 10 vezes e 28% entre 1 e 3 vezes. Apesar de este estudo ter como base os TLVs de 2010, ele ainda é relevante. Um exemplo é o benzeno, para o qual, segundo a NR 15, define-se um valor de referência tecnológico (VRT) de 1,0 ppm para um grupo de empresas autorizadas a manusear benzeno e de 2,5 ppm para empresas siderúrgicas. Este VRT teve origem no acordo sobre a exposição ao benzeno, criado em 1995 por um grupo multidisciplinar de representantes da indústria, trabalhadores e governo. Desde então, discute-se a revisão desse acordo e, conseqüentemente, a redução do VRT, porém, sem consenso entre as partes, este acordo prevê que se busque o menor nível possível de exposição. (ARCURI; CARDOSO, 2005). Enquanto isso, a ACGIH revisou o TLV de 0,5 ppm para 0,02 ppm em 2024, ou seja, comparando apenas o benzeno, o limite nacional é de 50 a 125 vezes maior (ABHO, 2024).

A Tabela 10 apresenta os limites adotados pela ACGIH e sua equivalência com os limites de tolerâncias nacionais.

Tabela 10 - Limites de exposição ocupacional (LEO)

Limite da ACGIH	Descrição do limite	Equivalência com a Norma Regulamentadora 15
Limite de exposição média ponderada pelo tempo (TLV -TWA)	Concentração média ponderada no tempo para uma jornada normal de 8 horas diárias e 40 horas semanais	Limite de tolerância, exceto que os limites nacionais preveem uma exposição para até 48 h semanais. Quando demandando a comparação entre os limites da ACGIH com a nacional, é necessário adotar o fator de correção toxicológico denominado BRIEF SCALA, pois a jornada no Brasil é de 44 horas por semana.
Limite de exposição de curta duração (TLV - STEL)	É um limite de exposição média ponderada em 15 minutos, que não deve ser ultrapassado em nenhum momento da jornada de trabalho, mesmo que a concentração média ponderada esteja dentro dos limites TLV -TWA	Não existe esse tipo de limite nacional.
Limite de exposição - valor - Teto (TLV -C)	É a concentração que não deve ser excedida durante nenhum momento da exposição do trabalho	Valor teto. A legislação nacional também traz o conceito de valor máximo, o qual mediante aplicação de uma fórmula matemática ($LT \times FD$) se determina o LT. Se este for ultrapassado há uma situação de risco grave e iminente, o que implicaria na paralisação imediata da exposição, já que é uma situação que pode causar lesão grave ao trabalhador.
Limite de exposição para superfícies (TLV SL)	É a concentração de substâncias químicas sobre as superfícies de equipamentos e áreas industriais que, provavelmente não causam efeitos adversos á saúde por contato direto ou indireto.	Não existe esse tipo de limite nacional.

Fonte: ACGIH (2024); BRASIL, (2022).

2.9 Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos - HPAs

Os HPAs são hidrocarbonetos com mais de dois anéis de benzeno na molécula, são quimicamente estáveis e são amplamente distribuídos nos ambientes (WU *ET AL.*, 2024). Também são compostos conhecidos por suas propriedades cancerígenas e propriedades mutagênicas, portanto potencialmente perigosas para a saúde humanas (ADETUNDE *et al.*, 2014). Este capítulo detalhará os aspectos relacionados às características físico-químicas e toxicológicas desses compostos.

HPAs, assim como o BTEX, têm como características relevantes, sua lipofilicidade (coeficiente de partição octanol-água $\text{Log Kow} > 4$), além de sua permanência no ambiente e genotoxicidade, que aumentam conforme sua massa molecular atinge de 4 a 6 anéis aromáticos (SETTE, 2010). A emissão desses compostos ocorre de maneira ampla em todo o mundo, proveniente de fontes pirolíticas (formação de compostos químicos através de processos de decomposição térmica ou combustão incompleta de matéria orgânica em altas temperaturas), e petrogênicas (formação de compostos químicos a partir de processos geológicos e biológicos de transformação de matéria orgânica em petróleo e gás natural), especialmente aquelas relacionadas à petroquímica, exploração de petróleo e combustão incompleta de matéria orgânica (SETTE, 2010).

Eles podem penetrar nos tecidos alveolares por meio da respiração e são profundamente absorvidos pela circulação sanguínea, o que pode levar ao aumento da morbidade e mortalidade por doenças respiratórias e cardiovasculares. Há também efeitos cancerígenos, teratogênicos e mutagênicos (WU *et al.*, 2024).

Um estudo realizado por Ataollahi Eshkoo *et al.* (2012) investigou a relação entre o encurtamento dos telômeros e o envelhecimento em trabalhadores expostos ocupacionalmente em uma oficina de mecânica de motores. A pesquisa foi conduzida com 240 indivíduos, divididos em dois grupos: 120 trabalhadores expostos em oficinas mecânicas e 120 controles não expostos. Este trabalho concluiu que a exposição ocupacional é um fator de risco significativo para o encurtamento dos telômeros, contribuindo para o envelhecimento acelerado nos trabalhadores expostos. Uma das fontes encurtamento do telômetro está associado diretamente a exposição ocupacional a HPAs, por conta que o HPA através da sua ativação metabólica produz estresse oxidativo (ZHANG, 2013; ATAOLLAHI, 2012).

Benjamin *et al.* (2006) investigaram a associação entre o risco de câncer de próstata e a exposição ocupacional a hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HPAs), considerando a

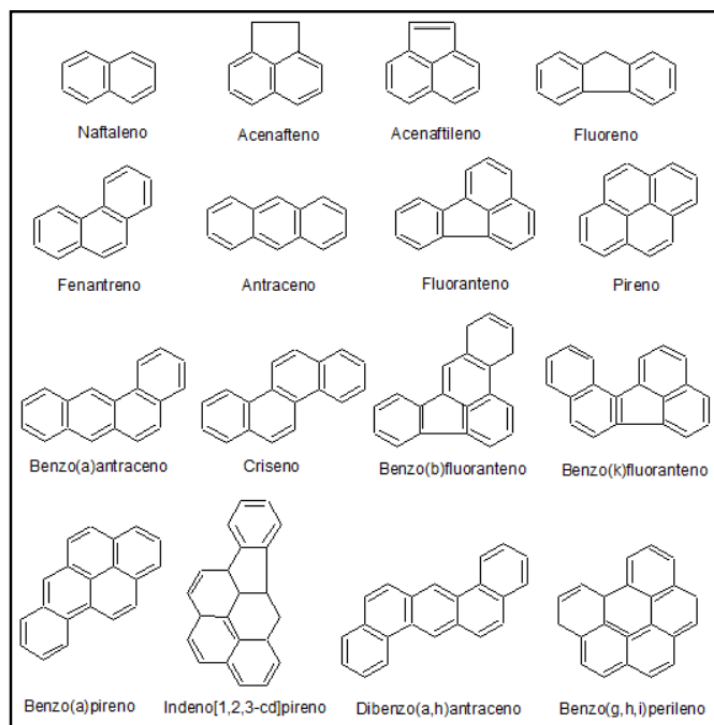
interação com o polimorfismo GSTP1 Ile105Val. Os resultados indicaram que, embora a exposição ocupacional aos HPAs não estivesse isoladamente associada a um risco significativamente aumentado de câncer de próstata, os portadores do alelo variante GSTP1 Val105 apresentaram um risco aumentado quando expostos a altos níveis de HPAs respiratórios, especialmente de fontes de petróleo.

WAGNER *et al.* (2014) realizou uma revisão de literatura em trabalhos científicos, o qual teve como conclusão de que a exposição ocupacional a HPAs está associado a um risco aumentado de câncer de laringe.

Após exposição crônica, os efeitos não cancerígenos dos HPAs afetam principalmente os sistemas pulmonar, gastrointestinal, renal e dermatológico. Muitos HPAs são apenas ligeiramente mutagênicos ou mesmo não mutagênicos *in vitro*; no entanto, seus metabólitos ou derivados podem ser mutagênicos potentes. Eles geralmente têm um baixo grau de toxicidade aguda para humanos (ATSDR, 2024).

Os HPAs Segundo a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos, 16 HPAs são considerados prioritários (US.EPA, 1998). A estrutura destes 16 HPAs é ilustrada na Figura 7.

Figura 7 - Estruturas dos 16 HPAs prioritários pela US.EPA



Fonte: Sette (2010).

As características físico-químicas dos HPAs variam conforme seu peso molecular. Em temperatura ambiente, esses compostos são sólidos, geralmente apresentando altos pontos de fusão e ebulição, baixa pressão de vapor e baixa solubilidade em água, como é o caso do naftaleno, que tem uma solubilidade de 31 mg/mL. Além disso, a resistência à oxidação e redução, assim como a volatilidade, tendem a diminuir com o aumento da massa molar, do número de anéis aromáticos e do grau de alquilação. Dessa forma, os HPAs de menor peso molecular são mais voláteis e possuem maiores pressões de vapor (Sette, 2010).

Conforme descrito pela ATSDR (2024) é difícil atribuir os efeitos observados na saúde em estudos epidemiológicos a HPAs específicos, pois a maioria das exposições ocorre a misturas de HPAs. A Tabela 11 apresenta um resumo sobre a classificação dos 16 HPAs em relação à sua carcinogenicidade.

Tabela 11 - HPAs e suas respectivas classificações junto a IARC

Composto	Classificação da IARC	Número de anéis benzênicos
Naftaleno (CAS 91-20-3):	2B- Possivelmente carcinogênico para humano	2
Acenafteno (CAS 83-32-9):	3 O agente não é classificável como cancerígeno para humanos	3
Acenaftileno (CAS 208-96-8):	Não foi identificado estudo junto à IARC; porém, a US.EPA o classifica como não cancerígeno para humanos.	3
Antraceno (CAS 120-12-7)	2B possivelmente carcinogênico para humano	3
Fluoreno (CAS 86-73-7):	3 O agente não é classificável como cancerígeno para humanos	3
Fenantreno (CAS 85-01-8):		3
Fluoranteno (CAS 206-44-0):		4
Pireno (CAS 129-00-0):		4
Benzo(a)antraceno (CAS 56-55-3):	2B possivelmente carcinogênico para humano	4
Criseno (CAS 218-01-9):		4
Benzo(b)fluoranteno (CAS 205-99-2)		5
Benzo(k)fluoranteno (CAS 207-08-9):		5
Dibenzo (a, h) antraceno (CAS 53-70-3):	2A - O agente é provavelmente cancerígeno para humanos	5
Benzo(a)pireno (CAS 50-32-8):	1 - O agente é cancerígeno para humanos	5
Indeno(1,2,3-cd) pireno (CAS 193-39-5):	2B - Possivelmente carcinogênico para humano	6
Benzo (g, h, i) perileno (CAS 191-24-2):	3 - O agente não é classificável como cancerígeno para humanos	6

Fonte: Elaborada pelo autor.

2.10 Métodos para coleta dos contaminantes no ar

Amostrar o ar consiste em isolar uma porção do ar e seus poluentes, com o objetivo de coletar os compostos para uma análise instantânea ou futura (PICELI; LISBOA, 2018).

Um dos métodos, utiliza uma bomba de sucção de ar, sendo denominado método ativo (PICELI, LISBOA, 2018). Elas succionam o ar a uma determinada vazão preestabelecida. Essa ação é feita em conjunto com um cartucho adsorvente, pelo qual o ar do ambiente passará, retendo os contaminantes. Posteriormente, esses amostradores passam por métodos analíticos para determinar a concentração do contaminante retido. Outro método utilizado é a amostragem passiva, que atua por meio de difusão e permeação, não necessitando de sucção de ar. Apesar de sua maior facilidade de operação, este método tem limitações, especialmente em relação à velocidade facial, à orientação do ar e à temperatura. Por exemplo, uma mudança de temperatura de 25 para 30°C pode gerar erros de 1%. Outro fator que pode influenciar e levar a erros é a presença de umidade (CRUZ; CAMPOS, 2002).

2.11 Avaliação de risco

Segundo Jardim e Caldas (2009) o risco pode ser descrito como a chance de um efeito negativo acontecer em um organismo, sistema ou (sub)população devido à exposição a um agente sob determinadas condições, incluindo a identificação das incertezas esperadas e levando em consideração as características inerentes ao agente e as do sistema alvo. Esse efeito negativo, pode ter um viés agudo ou crônico, afetando diretamente a saúde dos expostos. Mediante as características toxicológicas dos COVs e HPAs, e seus efeitos a saúde já indicados neste trabalho, torna-se necessário promover uma avaliação de risco a exposição a estes compostos.

O risco é uma função entre a toxicidade do agente e a sua exposição, podendo ser entendido matematicamente como: $\text{Risco a saúde} = (\text{exposição}) * (\text{toxicidade})$ (Jardim, Caldas, 2009)

O local objeto deste estudo é uma retífica de motores, que possui empregados contratados pela Consolidação das Leis do Trabalho (CLT), ou seja, um ambiente ocupacional. Sendo assim, cabe à organização o cumprimento das Normas Regulamentadoras (NRs). Neste escopo, cumpre o atendimento à NR 01 - Disposições Gerais e Gerenciamento

de Riscos Ocupacionais, que determina que as organizações identifiquem os riscos gerados em suas operações e, conseqüentemente, os controlem, visando garantir a saúde dos trabalhadores expostos (BRASIL, 2024).

Os riscos ocupacionais representam riscos para a saúde e a segurança e têm um impacto negativo na economia, representando aproximadamente uma perda de 4% no produto interno bruto global anual (KHALILI, NASRABADI, 2023).

A avaliação de risco faz parte da estrutura do sistema de gerenciamento de risco, sendo o pilar deste processo. Por meio dela, é possível mensurar, classificar, priorizar e determinar as medidas que podem ser utilizadas para controlar exposições fora dos padrões (Reis, 2004). Além disso, ela pode ser utilizada para determinar a possível causalidade dos efeitos à saúde.

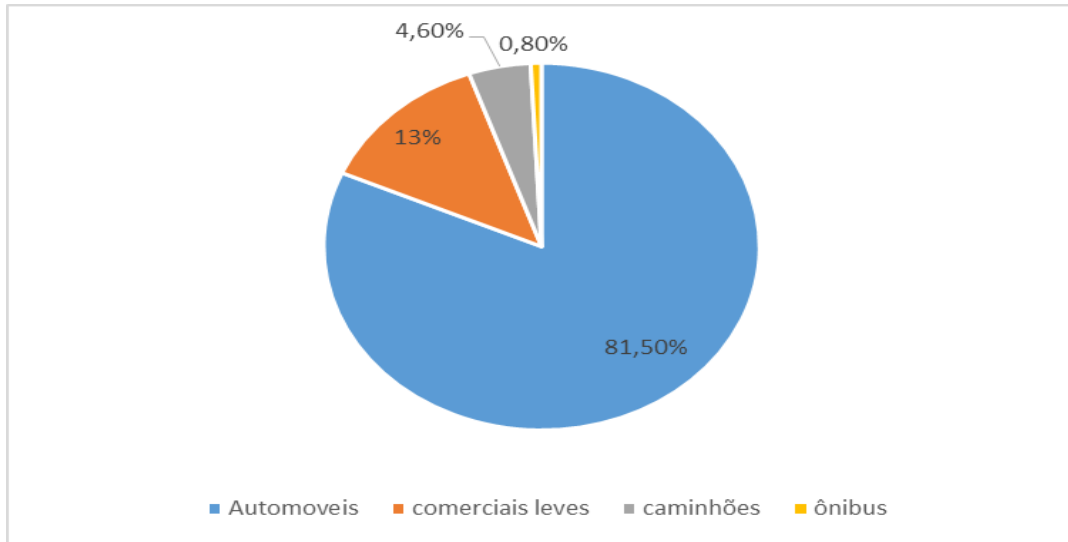
Do ponto de vista legislativo não há uma determinação legal sobre qual método de avaliação de risco ser utilizado, e se tratando de exposição aos agentes químicos existem diversas metodologias, sendo elas qualitativa, semiquantitativas e quantitativas (Vincent *et al.*, 2005), sendo assim deve ser adotado o método mais adequado para cada cenário.

A legislação brasileira determina que, para exposição ao benzeno, por este ser um agente cancerígeno e constar na lista nacional de agentes cancerígenos, o trabalhador deve trabalhar no máximo por 25 anos nessa operação (BRASIL, 1999), esse aspecto é relevante e foi utilizado como um dos parâmetros para a determinação do tempo exposição no estudo de avaliação de risco a saúde humana.

2.12 Oficina mecânica – retífica de motores

O relatório de frotas circulantes, elaborado pelo Sindipeças (2024), descreve a frota de veículos (automóveis e motos) no Brasil em 2023 era de 60,4 milhões, deste total 21,96% correspondem a motos e 78,04 a automóveis. Excetuando-se as motos, há uma segmentação em automóveis, comerciais leves, caminhões e ônibus, distribuídos conforme o Gráfico 1.

Gráfico 1 - Distribuição da frota de automóveis no Brasil em 2023

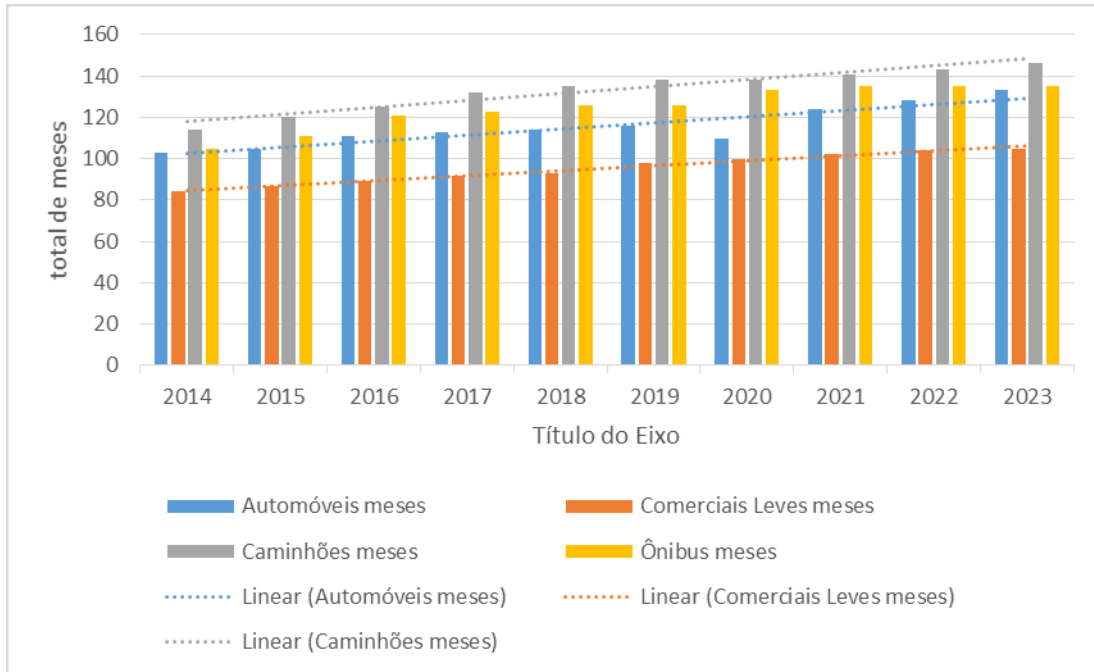


Fonte: Sindipeças, 2024.

Conforme observado no Gráfico 1, os automóveis têm maior distribuição em relação aos demais, em níveis significativos correspondendo a 81,5%. Entre os Estados com as maiores frotas, o Estado do Rio de Janeiro está na quarta posição, com 6,8% do total. A frota nacional nos últimos quatro anos, cresceu em média 0,7%, indicando um envelhecimento da frota, isso é corroborado ao analisar a idade média da frota (Gráfico 2), na qual houve aumento em todos os segmentos (SINDIPEÇAS, 2024).

O Gráfico 2 mostra a idade média dos veículos em meses para diferentes segmentos (Automóveis, Comerciais Leves, Caminhões e Ônibus) ao longo dos anos de 2014 a 2023. Observa-se a tendência de aumento da idade média, chegando a uma média de 10 anos e 8 meses, ao avaliar separado temos para automóveis uma média de 11 anos e 1 mês e para caminhões chega 12 anos e 2 meses. Em comparação com a União Europeia essa média pode variar 6,7 anos em Luxemburgo e até 17 anos na Lituânia (FUEL EUROPE, 2024).

Gráfico 2 - Idade média da frota de automóveis no Brasil (2014 -2023)



Fonte: Sindipeças, 2024.

O número de vezes que é necessário realizar a manutenção dos veículos aumenta conforme a idade deles. Isso ocorre devido à necessidade de reparar ou substituir peças e outros componentes que sofrem desgaste natural (MARTINOVIC, 2015).

Com este elevado número de veículos consequentemente há uma demanda ampla de estabelecimentos focados em reparação de automotivas, conforme o SEBRAE, 2017 relata estes serviços podem ser divididos normalmente em: mecânica/eletroeletrônica, funilaria, pintura, tapeçaria e retífica de motores.

A retífica é um processo de manutenção do motor para reparar pequenos danos causados pelo desgaste natural, prolongando sua vida útil. As peças do motor dos veículos estão sujeitas a alta temperatura e atrito, o que desgasta seus componentes, agravando-se com o aumento da quilometragem e tempo de uso. Dada essa combinação de fatores, uma das alternativas para recompor o funcionamento do motor é retificá-lo (SEBRAE, 2017). Segundo o Conselho Nacional de Retíficas de Motores (CONAREM,2024), a durabilidade dos motores atualmente situa-se entre 120 mil e 150 mil quilômetros, necessitando de retífica após esse período, especialmente em veículos utilizados em perímetros urbanos com pouca quilometragem por trajeto (apud IBAMA, 2024).

Uma pesquisa realizada em 2011 pela Associação Paulista de Retífica de Motores (APAREM) indicava que a maioria dos automóveis que passam pelo processo de retífica tem

até 10 anos de fabricação (apud IBAMA, 2024), evidenciando a relação entre idade e necessidade de manutenção. As atividades das retíficas de motores estão enquadradas no CNAE - CNAE 29.50-6/00 - Recondicionamento e recuperação de motores para veículos automotores.

Com base neste CNAE, foi realizada uma análise nos dados estatísticos da Relação Anual de Informações Sociais (RAIS), ano-base 2022. A RAIS é um registro administrativo previsto na legislação trabalhista brasileira, com periodicidade anual, apresentando informações sobre todos os estabelecimentos formais e vínculos celetistas e estatutários no Brasil. Todas as empresas inscritas sob um CNPJ, com ou sem empregados, devem preenchê-la, inclusive microempreendedores individuais que possuam empregados. Esses dados permitem avaliar o número de estabelecimentos, número de empregados e demais informações estatísticas relevantes (BRASIL, 2022), tais informações constam na tabela 12 e 13.

Tabela 12 - Distribuição das retíficas de motores no Brasil, ano-base 2018

Local	Número de retíficas
Município do RJ	28
Estado do RJ	90
Total no Brasil	1647

Fonte: Ministério da Economia – ME, 2018

Tabela 13 - Distribuição dos empregados de retíficas de motores no Brasil, ano-base 2022

Local	Número de empregados
Município do RJ	151
Estado do RJ	573
Total no Brasil	12776

Fonte: RAIS, 2022

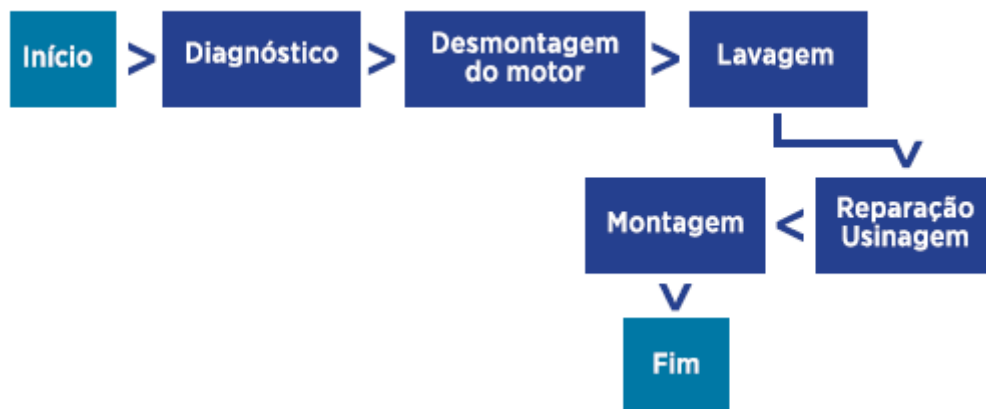
Analisando os dados das Tabelas 12 e 13, podemos observar que as retíficas no Estado do RJ representam aproximadamente 5,46% do total no Brasil. Em relação aos empregados, o

Estado do RJ representa 4,48% do total. Importante ressaltar a taxa anual de informalidade no Brasil, que em 2023, segundo a PNAD Contínua, chegou a 39,2%, enquanto no Estado do Rio de Janeiro foi de 37,1% (IBGE,2024).

O perfil deste grupo é enquadrado como microempresas, tendo até no máximo nove empregados, os quais se destacam as seguintes funções os mecânicos ajudantes (FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE, 2016).

A Figura 8 apresenta um fluxograma típico de uma retífica de motores, cada etapa tem uma relevância dentro do processo, a saber, (FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE, 2016):

Figura 8 - Fluxograma de uma retífica de motor



Fonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2016.

- Diagnóstico - A primeira etapa consiste em uma avaliação do motor para estabelecer o nível de retífica a ser empregado.
- Desmontagem do motor - O motor é retirado do veículo e nessa etapa é desmontado completamente de todos os componentes: bloco cabeçote, cárter, pistão, biela, virabrequim, vela de ignição, válvula de admissão e válvula de escape (LIMA; SANTOS, 2023). Neste ponto os fluidos do motor são removidos (combustíveis e óleos lubrificantes).
- Lavagem - remoção das impurezas dos componentes usando banhos químicos, térmicos e com uso de soluções desengraxantes e descarbonizantes;

- Reparação e usinagem - Aqui ocorre o processo de usinagem que é o desbaste mecânico das peças danificadas, e que foram identificadas nas etapas de diagnósticos.
- Montagem - ocorre uma lavagem final para remoção de impurezas. Alguns componentes passam por lubrificação, e por fim o motor é pintado e montado.

A Figura 9 ilustra um motor e a sua composição básica

Figura 9 – Exemplo de um motor e sua composição básica



Fonte: Conarem, 2024.

Nas mais diversas etapas, os profissionais da retífica têm contato através da inalação ou contato dérmico com produtos petroquímicos, os quais possuem em sua composição (COVs) e HPAs

O óleo lubrificante desempenha um papel crítico na redução do atrito e na garantia de maior eficiência energética do motor, tanto em termos de consumo de combustível quanto de potência. Os óleos são feitos à base de petróleo que passam por muito refino; os HPAs no óleo base são removidos propositalmente durante o processo de refino na produção, restando apenas frações muito baixas de HPAs. No entanto, os óleos residuais podem conter metais e HPAs produzidos durante o funcionamento do motor, além da existência no mercado de óleos lubrificantes adulterados ilegalmente, o que aumenta a possibilidade da presença de compostos perigosos (YANG *et al.*, 2016).

Um estudo realizado por Petit *et al.* (2017) avaliou a base de dados E-HAP que é um banco de dados de amostras de ar realizadas em ambientes ocupacionais, que continha 1729 amostras de ar relacionadas a HPAs associadas a diversos grupos de emissão. Foi aplicada uma modelagem estatística que evidenciou nove setores associados à emissão de HPAs no

âmbito ocupacional, destacando-se a exposição a esses compostos decorrente de óleos lubrificantes em atividades de manutenção de veículos.

A gasolina e o diesel geralmente contêm HPAs abundantes, assim como no caso do BTEX que constituem até a cerca 18% de em uma mistura padrão de gasolina (Yang *et al.*, 2016). A Agência Nacional de Petróleo regulamenta inclusive o percentual máximo que deve ter na gasolina, em 1% de benzeno e até 35% de Hidrocarbonetos Aromáticos. Silva *et al.* (2018), avaliaram o percentual de BTEX nas gasolinas no Estado do Maranhão, identificando a presença de benzeno 0,372% (%v/v) xileno 1,487 % (%v/v) e tolueno 1,533 (%v/v), outra análise realizada por Carvalho (2014) no Estado do Pará, detectou benzeno na relação de 0,96% (%v/v), tolueno 3,24(%v/v), o-xileno 1,67%, p xileno 1,31% e m -xileno 2,71(%v/v).

Nganje, Edet e Ekwere (2007) realizaram um estudo para avaliar a presença de HPAs em instalações onde se manipulam produtos derivados de petróleo. Neste trabalho, as oficinas mecânicas apresentaram a segunda maior concentração de HPAs, sendo a primeira concentração encontrada nos postos de gasolina.

Mediante as características das operações de uma retífica de motores e suas fontes de emissão de COVs e HPAs, considerando os aspectos toxicológicos desses poluentes e o impacto na saúde dos expostos, além da relação descrita por McDonald *et al.* (2018) que indica que a emissão de COVs contribui para o aumento dos poluentes externos, entender a relação da emissão desses compostos no ambiente interno é essencial para a saúde pública.

3 METODOLOGIA

3.1 Seleção e descrição do local

Conforme relatado no referencial teórico, as retíficas de motores constituem um grupo de empresas com atuações específicas. Dessa forma, a escolha da retífica foi realizada através do contato inicial com o Sindimotor - Sindicato de Remanufaturamento, Recondicionamento e/ou Retífica de Motores. Foram apresentados os objetivos deste estudo ao sindicato, que posteriormente forneceu uma lista com quatro retíficas dispostas a participar do projeto. As unidades estão localizadas em São Paulo, Capital, Rio de Janeiro, Campos dos Goytacazes, Nova Iguaçu e Resende.

Após o contato inicial com essas unidades, foi escolhida a retífica de Resende devido à logística, uma vez que a coleta de materiais em campo e a posterior análise analítica seriam realizadas na UERJ, Campus Regional de Resende (FAT). Outro fator relevante para a escolha da retífica de Resende foi a observação, durante a visita inicial, de que os processos operacionais locais são bem delimitados e separados por áreas e isso permitiria uma compreensão robusta de cada etapa das operações. A ampla atuação da retífica também foi um critério importante, pois a unidade realiza a retífica de motores de vários segmentos da frota veicular, incluindo veículos de passeio, motocicletas e caminhões, proporcionando diversidade nos materiais a serem analisados. Observou-se também um alto fluxo de atividades, decorrente especialmente do recebimento de motores de outras oficinas para retífica. A retífica é segmentada em: nos seguintes setores: Administração, Recebimento de motores e atendimento, lavagem, usinagem, troca de vela de combustível. Seu horário de funcionamento é das 8:00 às 18:00, de segunda a sexta-feira

A retífica está localizada em um perímetro urbano, conforme verificado no plano diretor local. O entorno da retífica é predominantemente residencial, com divisas frontais, laterais e posteriores com residências. O perímetro da localização da retífica é indicado na Figura 10. Não foi detalhada a localização exata do local de estudo, devido a aspectos éticos relacionados à pesquisa, de forma a preservar o estabelecimento.

Figura 10 - Perímetro urbano onde fica localizada a retífica objeto deste estudo



Fonte: Google Earth.

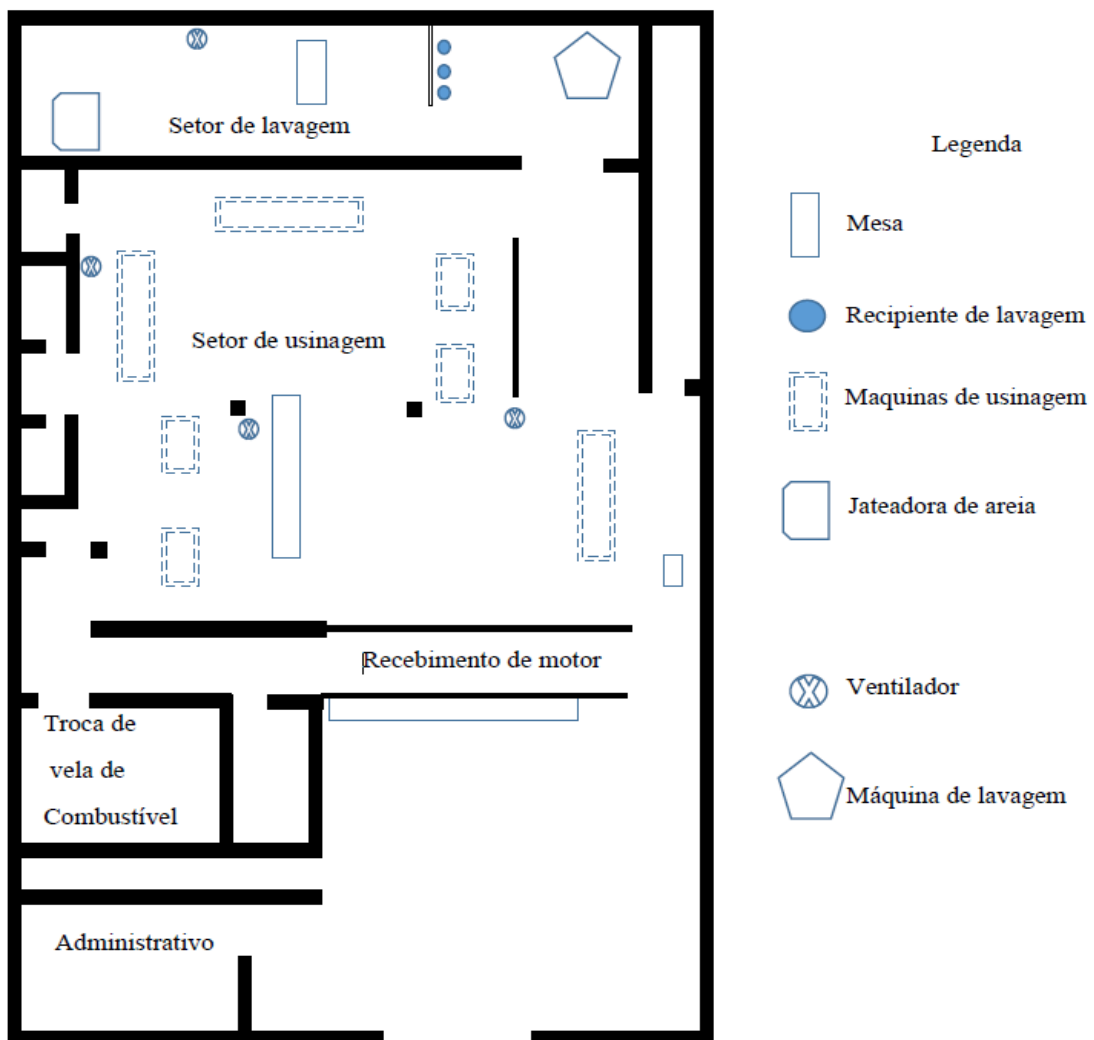
A Retífica fica em um galpão com seguintes características:

- Área total - 600 m^2 (comprimento 40 m x largura 15 m)
- Pé direito que varia entre os setores de 5,20 a 6,80 m
- O teto também varia de acordo com a área, no setor de lavagem em uma parte usinagem este é constituído de telhas de cerâmicas. Outra parte é de telhas metálicas.
- O piso é constituído de cimento, as paredes são de alvenaria.
- A iluminação é feita por me lâmpadas do tipo fluorescentes, porém existe uma iluminação natural proveniente da fachada da edificação.
- Há ventiladores instalados nas paredes que visam melhorar o conforto térmico do ambiente. Existe uma ventilação natural proporcionada pela entrada de ar pela fachada do galpão. Em uma parte da parede lateral, existem tijolos vazados, embora esses tijolos não cubram toda a extensão da parede.
- Volume em m^3 - 1800 m^3
- Dos equipamentos existentes: retificadores de virabrequim, bielas, cilindros, e de superfície planas; torno mecânico; plaina de desempenadeira e cabeçote; jateadora de areia; furadeira de bancada; macaco hidráulico; compressor;

máquina de lavagem automática e máquina de hidrojato; bombonas para imersão e lavagem de peças.

A Figura 11 apresenta de forma esquemática a área avaliada e suas divisões. Existe outro galpão onde é realizada a desmontagem dos motores, quando necessário. Optou-se por não atuar nesse ambiente por se tratar de uma área aberta. Observando os procedimentos internos, constatou-se que no galpão onde ocorrem as retíficas, a desmontagem das peças do motor é realizada diversas vezes.

Figura 11 - Croqui da retífica de motores



Fonte: Elaborada pelo autor.

3.2 Descrição do fluxo de processos da retífica de motor

As operações ocorrem na seguinte cronologia:

1. Recebimento do motor e/ou cabeçote;
2. Inspeção para verificação de trincas e defeitos visuais;
3. Desmontagem do cabeçote;
4. Lavagem preliminar com uma mistura de gasolina e diesel;
5. Jateamento dos cabeçotes de motores e/ou peças para remover contaminantes;
6. Descarbonização do cabeçote com uma solução química;
7. Lavagem com água;
8. Usinagem do cabeçote e demais peças;
9. Plainamento da face do cabeçote;
10. Montagem do cabeçote e armazenamento em área limpa.

A Figura 12 apresenta o local onde são realizadas as lavagens das peças, a legenda A, indica os tanques onde são imersas as peças nas soluções para descarbonização e a legenda B, mostra o recipiente onde ficam a gasolina e diesel utilizados na limpeza

Figura 12 - Setor de lavagem das peças e motores da retífica



Fonte: Arquivo pessoal.

A Figura 13 mostra o recipiente utilizado para armazenar a mistura de diesel e gasolina usada na limpeza das peças. Essa solução não possui uma padronização de mistura, sendo feita de forma qualitativa. A troca não é padronizada, ocorrendo basicamente quando o volume diminui. Os profissionais utilizam escovas e/ou pincéis embebidos na solução para passar nas peças. A Figura 14 apresenta a mesma mistura após alguns processos de limpeza.

Figura 13 - Recipiente com a mistura de gasolina e diesel que é utilizado na limpeza



Fonte: Arquivo pessoal.

Figura 14 - Recipiente com a mistura de gasolina e diesel após algumas lavagens



Fonte: Arquivo pessoal.

A etapa de lavagem e desmontagem gera normalmente as maiores exposições, por conta da remoção dos fluidos do motor, os quais impregnam as diversas peças do motor, conforme pode ser observado nas Figuras 15, 16 e 17.

Figura 15 - Virabrequim com resíduos de óleos e combustíveis



Fonte: Arquivo pessoal.

Figura 16 - Biela do virabrequim com resíduos de óleos e combustíveis



Fonte: Arquivo pessoal.

Figura 17 - Tampa do cabeçote com resíduos de óleos e combustíveis



Fonte: Arquivo pessoal.

3.3 Métodos para coleta do ar dos contaminantes

Optou-se neste estudo por realizar a coleta através de amostragem ativa, tendo em vista seu amplo uso na literatura, a disponibilidade de insumos para a coleta, os parâmetros de coletas seguiram os métodos NIOSH 1501, 1550 e EPA TO 13A (CARVALHO, 2016), foram utilizadas seis bombas de amostragens, modelos BDX II, marca Sensidyne. No Apêndice B, há um resumo dos métodos, detalhados nos itens 4.4 e 4.5

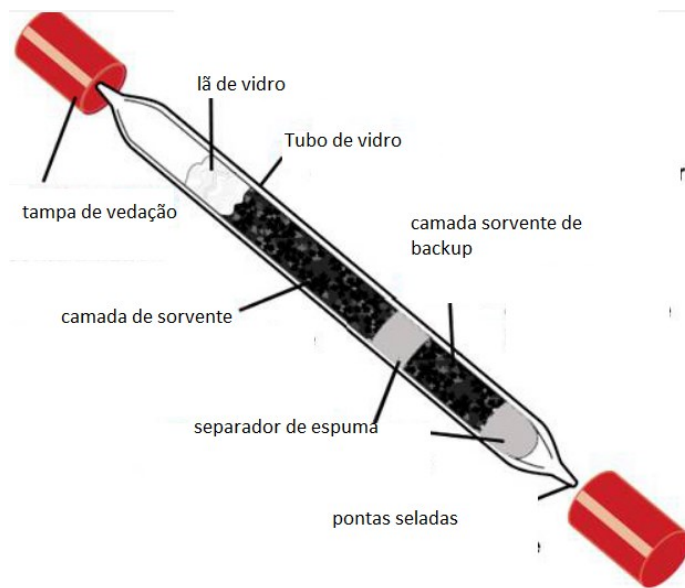
3.4 Amostragem de BTEX

As coletas de BTEX foram realizadas utilizando três bombas de amostragem, todas calibradas com uma vazão de $1,0 \text{ Lmin}^{-1}$. Foi utilizada uma mangueira de teflon flexível para o posicionamento do cartucho adsorvente de carvão ativado, tamanho 6 x 70 mm, 2 seções, 100/50 mg, modelo SKC 226-01. As duas pontas do cartucho eram quebradas e este era posicionado nas mangueiras de silicone, de forma que o ar passe pelo seu interior e os contaminantes sejam retidos na camada sorvente.

A vazão foi verificada no início das avaliações e ao final, utilizando-se um aferidor digital, fabricante CRIFFER, modelo CR4 lite. As medições de vazão eram feitas em conjunto

com o cartucho, de forma que a vazão registrada pelo calibrador fosse a real, ou seja, considerando a passagem do ar pelo cartucho. Quando necessário, eram realizados ajustes na bomba para se obter a vazão recomendada. O equipamento foi calibrado em 05/12/2022, em laboratório registrado junto à Rede Brasileira de Calibração (RBC). A metodologia de coleta foi definida após a análise de estudos que realizaram o monitoramento desses compostos em ambientes internos (CASTRO, 2011; MARTINS *et al.*, 2019; SEKAR, VARGHESE, VARMA, 2019). A Figura 18 apresenta o detalhamento do cartucho.

Figura 18 - Detalhamento do cartucho de adsorvente de BTEX



Fonte: SKC, 2024.

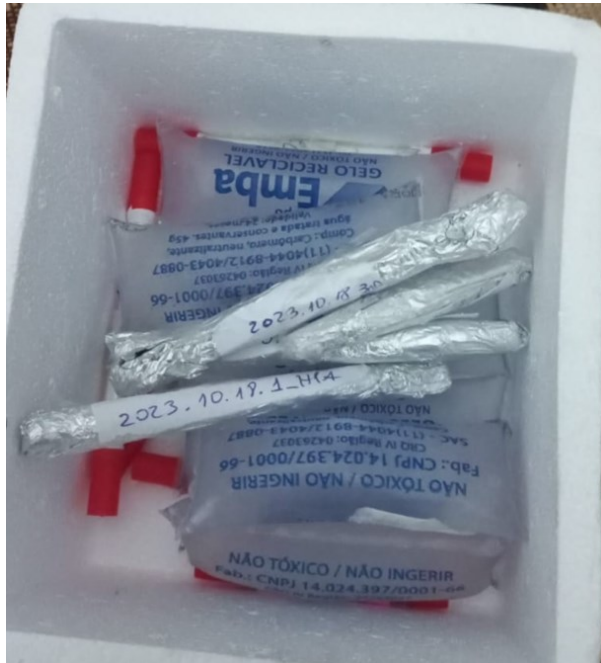
Quanto ao tempo de amostragem, por se tratar de um ambiente ocupacional, optou-se por coletar ao menos 7 horas, visando obter uma maior representatividade na coleta e, conseqüentemente, um maior volume de ar. Apenas no primeiro dia de coleta foi realizado um tempo inferior, sendo amostrado por três horas. Para o período de 3 horas foram coletados em média 0,180 m³, e para o período de 7 horas, em média 0,420 m³ de ar.

Foram realizados 11 dias de monitoramento em três pontos de coleta diferentes no interior da retífica, totalizando 33 amostras. O detalhamento dos locais de amostragem consta no Capítulo 4.5.

Após o final do dia de cada coleta, os cartuchos eram removidos das bombas de amostragem, devidamente catalogados, vedados com as tampas específicas do amostrador, protegidos por papel-alumínio, colocados em uma caixa de isopor com gelo em gel e,

posteriormente, foram transportados para um refrigerador onde ficaram armazenados sob temperaturas negativas para posterior análise, conforme a Figura 19

Figura 19 - Armazenamento das amostras após as coletas no ambiente



Fonte: Elaborada pelo autor.

3.5 Amostragem de HPAs

As amostras de HPAs seguiram os mesmos protocolos das amostras de BTEX, no que diz respeito à bomba de amostragem (03), tempo de amostragem, catalogação e armazenamento do cartucho adsorvente. As condições que foram diferentes em relação ao BTEX foram os cartuchos adsorvente de CHAD 2, ORBO, modelo 609, com dimensões de 8 x 115 mm. No primeiro dia de amostragem, a bomba apresentou variações na vazão, resultando em uma média de 1,09 Lmin⁻¹. Nos dias subsequentes, foi possível estabilizar a vazão em 1,5 Lmin⁻¹. O volume de ar coletado no primeiro dia, com três horas de amostragem, foi em média 0,196 m³, enquanto nos demais dias foi de 0,630 m³. A amostragem foi realizada em oito dias, totalizando 22 amostras. A quantidade de dias e amostras diferiu em relação ao BTEX devido à falta do insumo, que no caso foi o cartucho adsorvente. Uma busca foi realizada junto a fornecedores para verificar a existência de outros cartuchos equivalentes, mas apenas uma marca foi encontrada, sendo esta importada. No

entanto, a aquisição foi inviabilizada devido ao custo em euros e ao prazo estimado de importação, que seria de dois a três meses.

A definição quanto a vazão e tipo de cartucho adsorvente, foram obtidos com base na avaliação de estudos científico, sendo utilizados como referências os trabalhos de Masih *et al.* (2010) e Arbeau *et al.* (2015). A Figura 19 apresenta o detalhamento do cartucho.

Figura 20 - Exemplo do cartucho adsorvente HPA usado na coleta do HPAs



Fonte: SIGMA, 2024.

3.6 Caracterização do local de amostragem

A retífica possui um total de 10 funcionários, divididos da seguinte forma: 2 atuando na área administrativa, 6 no processo de retífica do motor, 1 funcionário focado na limpeza das peças e 1 no recebimento do motor. Após alguns dias de observação, percebe-se que a área de lavagem é onde há a maior probabilidade de presença de COVs e HPAs, devido ao uso contínuo da mistura de limpeza associada aos resíduos oriundos das peças.

Nas áreas de usinagem, utilizam-se óleos minerais para arrefecimento e lubrificação das peças, e foi verificado o uso da solução de gasolina e diesel em vários momentos.

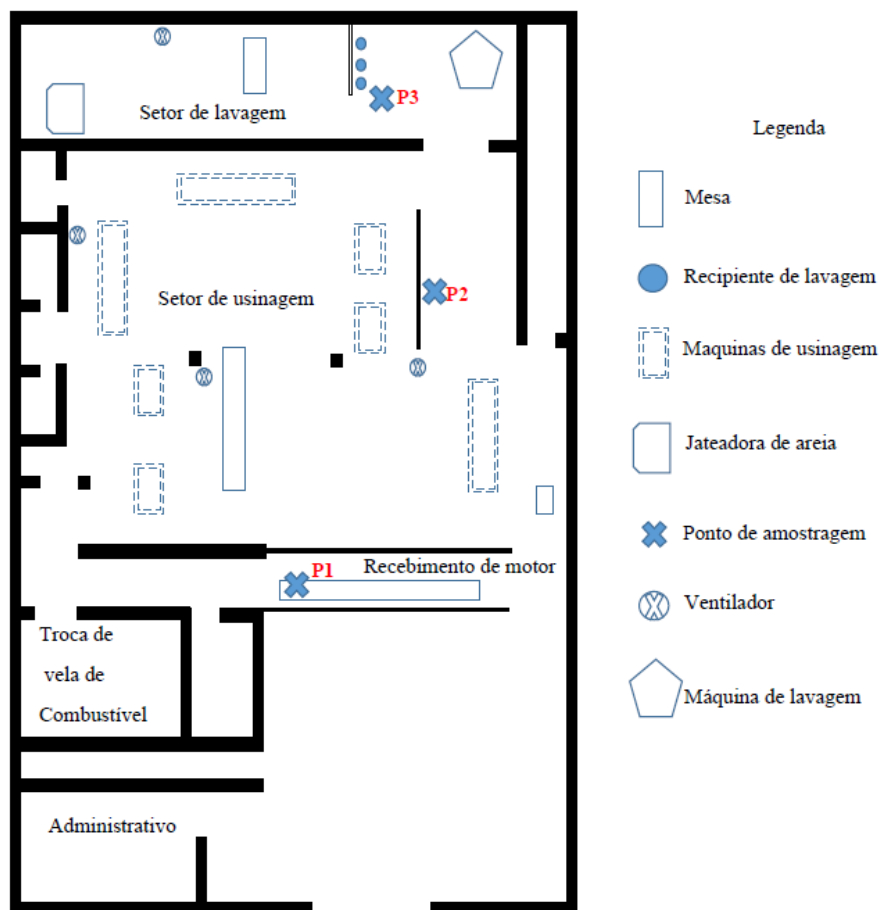
Os óleos minerais contêm em sua composição HPAs, porém seu risco está associado ao processo de refino destes, sendo que apenas os altamente refinados não são classificados como cancerígenos (BOSTRÖM *et al.*, 2024). Não foi possível identificar o fabricante do óleo mineral utilizado, e, dessa forma, não foi possível verificar a ficha de segurança deste, na qual constaria a classificação de refino.

O setor de recepção dispõe de uma bancada de concreto, onde muitos dos motores e peças são deixados, aguardando serem retirados para posterior limpeza e usinagem. Esses

motores ficam próximos a um posto administrativo, com uma mesa e um computador, onde um profissional permanece durante toda a sua jornada.

A percepção desta rotina foi relevante para determinar os locais que seriam utilizados como referência para a realização da coleta do ar. Com base nesse processo, optou por se em monitorar em três locais, ora denominados P1 - Entrada/recepção dos motores, P2 - Meio /Usinagem e P3 - Lavagem das peças. As bombas foram posicionadas a uma altura de 1,40 m em relação ao piso, essa altura propicia uma avaliação próxima ao que seriam as zonas respiratórias. O posicionamento desses pontos pode ser observado na Figura 21, um croqui com os pontos de amostragens com seus respectivos cartuchos posicionadas no Ponto de amostragem 1, localizada na entrada/ recepção.

Figura 21 - Croqui com a indicação dos pontos de amostragem de ar



Fonte: Elaborada pelo autor.

Na Figura 22 temos as bombas de amostragem de BTEX e HPA com seus respectivos cartuchos posicionadas no Ponto de amostragem 1, localizada na entrada/recepção dos motores.

Figura 22 - Bombas de amostragem de BTEX e HPA -PONTO 1



Fonte: Elaborada pelo autor.

Na Figura 23 temos as bombas de amostragem de BTEX e HPA com seus respectivos cartuchos posicionadas no Ponto de amostragem 2, localizada no meio/usinagem

Figura 23 - Bombas de amostragem de BTEX e HPA -P2



Fonte: Elaborada pelo autor.

Na Figura 24 temos Bombas de amostragem de BTEX e HPA com seus respectivos cartuchos posicionadas no ponto de amostragem 3, na área de lavagem das peças.

Figura 24 - Bombas de amostragem de BTEX e HPA -P3



Fonte: Elaborada pelo autor.

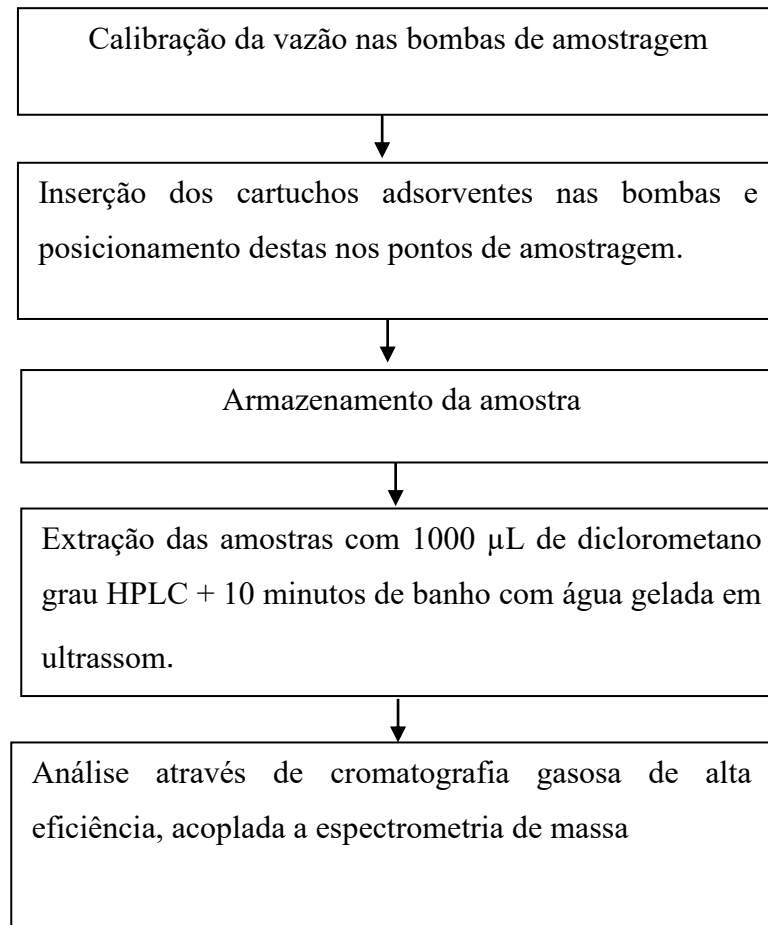
3.7 Extração do BTEX E HPAs

Tanto para o BTEX quanto para os HPAs, os fluxos foram similares nos seguintes aspectos: preparo da amostra para extração e metodologia analítica.

As amostras foram retiradas do freezer e, em seguida, iniciou-se o processo de extração, que foi realizado com a quebra dos cartuchos adsorventes em duas partes. O adsorvente principal e o de backup foram retirados e transferidos para frascos (vials) de 1,5 mL.

Nos vials, foram adicionados 1000 μ L de diclorometano a -20° C em grau HPLC, utilizando uma pipeta automática. Posteriormente, os vials foram tampados com septos de vedação e colocados em banho de ultrassom por 10 minutos. Após esse processo, houve um período de repouso para a deposição do adsorvente e então as amostras foram enviadas para análises cromatográficas. Isso é melhor descrito através do fluxograma indicando na Figura 25, que contempla também a etapa de coleta.

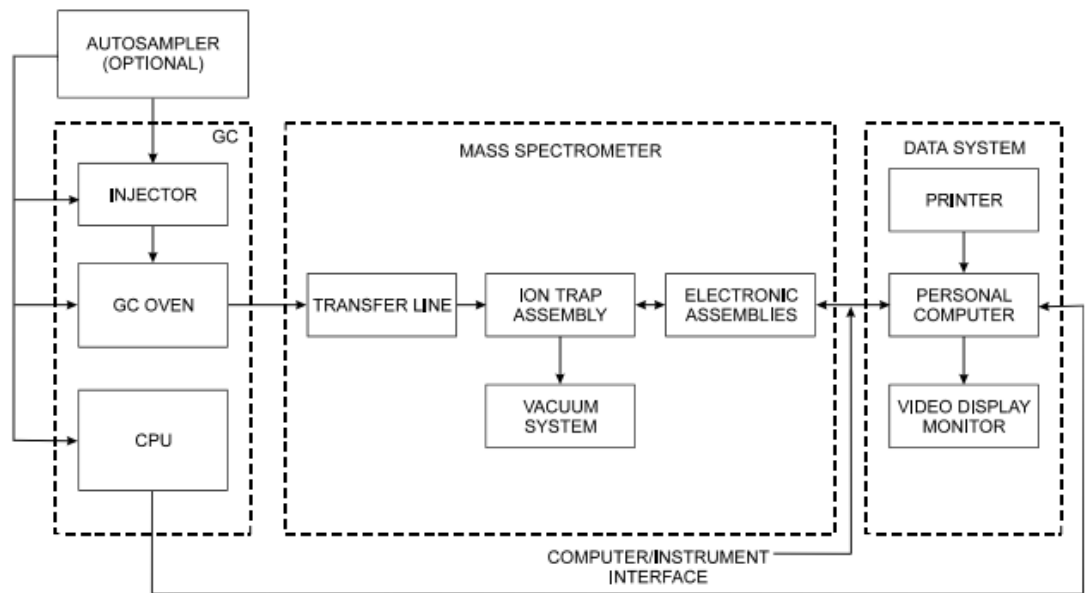
Figura 25 - Fluxograma de amostragem e extração - BTEX e HPAs



Tanto para BTEX quanto para HPAs, foram adotados como método analítico a cromatografia gasosa de alta eficiência, acoplada a espectrometria de massa. A cromatografia gasosa (CG) é uma técnica de separação e análise de misturas por interação dos seus componentes entre uma fase estacionária e uma fase móvel. De forma geral a técnica de CG é aplicável para separação e análise de misturas cujos constituintes sejam voláteis e que sejam termicamente estáveis (FELIZZOLA, COSTA, VASCONCELOS, 2014). Esses métodos foram utilizados amplamente em literaturas técnicas além de constarem como métodos indicados pela NIOSH 1501, 1550 e EPA TO 13-A (CARVALHO, 2016; MONTEIRO, 2011; MARTINS *et al.*, 2019).

As amostras foram injetadas automaticamente e arrastadas com o uso do hélio como gás de arraste. As substâncias separadas saem da coluna, sendo carreadas pela fase móvel, e passam por um detector que gera um sinal elétrico proporcional à quantidade de substâncias separadas na coluna. A Figura 26 apresenta um diagrama geral do funcionamento do sistema de cromatografia gasosa e espectrometria de massas.

Figura 26 - Diagrama de funcionamento cromatografia gasosa (CG) e espectrometria de massa.



Fonte: Varian, 2014.

O equipamento utilizado foi um cromatógrafo a gás, fabricante Varian, modelo 450 GC, e um espectrômetro de massas, fabricante Varian, modelo 220 MS, vide a Figura 27.

Figura 27 - Cromatógrafo a gás e espectrômetro de massas utilizado na análise das amostras de HPA e de BTEX



Fonte: Arquivo pessoal.

3.8 Limite de detecção (LD) e limite de quantificação (LQ)

O limite de detecção refere-se à menor concentração do analito que pode ser identificada em uma amostra sob condições experimentais específicas. Já o limite de quantificação indica a menor concentração do composto que pode ser mensurada com precisão utilizando um procedimento experimental específico (Figueiredo, 2018). Foram estabelecidos os seguintes LD e LQ, conforme a Tabela 14.

Tabela 14 – Limite e detecção e quantificação estabelecidos

LD - BTEX -	5,6 $\mu\text{g L}^{-1}$
LD HPA -	entre 2,26 a 7,22 $\mu\text{g L}^{-1}$
LQ -BTEX -	18,48 $\mu\text{g L}^{-1}$
LQ HPA	23,82 $\mu\text{g L}^{-1}$

Fonte: Elaborada pelo autor.

3.9 Avaliação de risco à saúde humana

Este estudo utilizou os métodos descritos no *Risk Assessment Guidance for Superfund* (RAGS), desenvolvido pela US.EPA. Este guia apresenta uma abordagem que permite calcular as probabilidades dos efeitos tóxicos e carcinogênicos. Os cálculos são baseados nas características toxicológicas dos compostos, associadas às concentrações destes identificadas em monitoramentos de campo. Para agentes cancerígenos, é possível estimar a probabilidade de incidência de câncer ao longo da vida de uma pessoa e/ou grupo exposto a um determinado composto químico classificado como cancerígeno. Essa metodologia pode ser adaptada ao tipo de exposição ao agente; no caso em questão, será utilizada a exposição por inalação, descrita na parte F do RAGS, (US.EPA, 2009; 2024; MARTINS *et al.*, 2019; KIM *et al.*, 2014). A maioria dos estudos usavam uma abordagem mais antiga que era a abordagem RAGS- utilizando parte A que era usada antes que a US.EPA emitisse a metodologia de dosimetria por inalação (KUMARI *et al.*, 2023)

Quanto a exposição não cancerígena, esta será avaliada por meio do Quociente de Perigo (HQ), que pode ser definido como razão entre a exposição potencial a um contaminante específico e a concentração na qual não se esperam efeitos adversos (US.EPA, 2009).

3.10 Estimativa da concentração da exposição para avaliação de riscos de câncer

Em 2009, a Agência de Proteção Ambiental dos EUA (US.EPA) atualizou a abordagem para a estimativa do risco à saúde humana associado à exposição por inalação ao ar contaminado, substituindo a ingestão por inalação de um contaminante com base na taxa de inalação (IR) e no peso corporal (BW). Atualmente, recomenda-se utilizar a estimativa da concentração de exposição (EC), determinada na Parte F do RAGS (KUMARI *et al.*, 2023).

Para determinar a probabilidade de incidência de câncer, é necessário primeiro calcular a Estimativa da Concentração da Exposição (EC), para exposição crônica e subcrônica, conforme a Equação 1.

$$EC = (CA.ET.EF.ED)/AT \text{ (Fonte -US.EPA,2009)} \quad (1)$$

Onde:

- EC ($\mu\text{g m}^{-3}$) - concentração da exposição
- CA ($\mu\text{g m}^{-3}$) -concentração do contaminante
- ET (horas/dia) = tempo de exposição
- EF (dias/ano) = frequência de exposição
- ED (anos) =duração da exposição
- AT (ED em anos. $365 \text{ dias/anos} \cdot 24 \text{ horas}$)

Para este estudo, foram utilizados os seguintes parâmetros para calcular o EC:

- CA ($\mu\text{g m}^{-3}$) =concentração média do contaminante monitorado (BTEX e HPAs);
- ET (horas/dia) = oito horas, levando em conta exposição diária do trabalho na retífica de motores
- EF (dias/ano) = 252, tendo como base os dias úteis do ano de 2023.
- ED (anos) = 25 anos (exposição recomendada pelo método US.EPA, 2009)
- AT = 21900 ($25 \cdot 365 \cdot 24$)

3.11 Riscos de câncer caracterizados pelo risco de unidade de inalação

O cálculo do risco excessivo de câncer, que pode ser entendido como a probabilidade de desenvolvimento de câncer em um indivíduo exposto e/ou em uma população determinada, é definido como RISCO (US.EPA,2009). Esse cálculo foi utilizado neste trabalho tendo como base a Equação 2.

$$CR = IUR \cdot EC \text{ (Fonte -US.EPA,2009)} \quad (2)$$

Onde:

- IUR (μgm^3) - Risco Unitário de Inalação;
- EC ($\mu\text{g m}^{-3}$) - Concentração de exposição (veja a Equação 1).

O IUR que é entendido como o risco excessivo de câncer ao longo da vida, estimado como uma exposição contínua a um agente na concentração de $1 \mu\text{g m}^{-3}$ no ar. A taxa IUR é uma das variáveis utilizadas no cálculo e foram obtidas através do banco de dados existentes no *Integrated Risk Information System* (IRIS), que faz parte da US.EPA (EPA, 2024). O EC foi obtido através do resultado da Equação 1.

O cálculo do risco de câncer se limitou ao benzeno, que foi detectado nas avaliações e é o único classificado como Grupo 1, cancerígeno comprovado para humanos. O IRIS apresenta duas taxas de riscos de inalação (IUR) para benzeno, a saber:

Risco Unitário de Inalação.: 2.2×10^{-6} per $\mu\text{g m}^{-3}$

Risco Unitário de Inalação.: 7.8×10^{-6} per $\mu\text{g m}^{-3}$

Analisando as duas taxas, verifica-se que a primeira indica que a exposição a $1 \mu\text{g m}^{-3}$ de benzeno ao longo da vida resulta em um risco adicional de câncer de 2,2 casos por milhão de pessoas expostas. A segunda taxa ($7,8 \times 10^{-6}$ por $\mu\text{g m}^{-3}$) indica que a exposição a $1 \mu\text{g m}^{-3}$ de benzeno resulta em um risco adicional de câncer de 7,8 casos por milhão. Com base na relação de que não existe limite seguro para exposição ao benzeno (IARC, 2012; WHO, 2010), optou-se por utilizar a segunda taxa por ser mais restritiva.

A US.EPA dos EUA classifica o risco de câncer como risco aceitável ($CR < 10^{-6}$), risco potencial de câncer ($10^{-6} < CR < 10^{-4}$) e risco elevado de câncer ($10^{-4} < CR$), onde um

valor aumentado de CR indica um maior risco de câncer, se aplicando a qualquer tipo de ambiente

(WU *et al.*, 2024).

A OMS estimou a faixa do risco excessivo de leucemia ao longo da vida em uma concentração de benzeno no ar. Por exemplo, concentrações de benzeno no ar de $17 \mu\text{g m}^{-3}$ correspondem a um risco de leucemia de 1 em 10^{-4} , e $1,7 \mu\text{g m}^{-3}$ da mesma substância correspondem a um risco de 1 em 10^{-5} (WHO, 2010).

Do ponto vista de ambientes ocupacionais, apenas o Japão tem um limite para probabilidade de estimativa de exposição ao câncer, especificamente para o benzeno que é definido pela Sociedade Japonesa de Saúde ocupacional em 10^{-3} (SAN-EI, 2024).

3.12 Quociente do perigo (HQ)

Para determinar o quociente de perigo, foi utilizada a Equação 3:

$$\text{HQ} = \text{EC} / (\text{Valor de Toxicidade}^1 \times 1000 \mu\text{g mg}) \quad (3)$$

Fonte: US.EPA (2009)

Onde:

- HQ (sem unidade) = Quociente de Perigo;
- EC ($\mu\text{g m}^{-3}$) = concentração de exposição (Equação 1)
- Valor de Toxicidade (mg m^{-3}) = valor de toxicidade por inalação (RfC) apropriado para o cenário de exposição (aguda, subcrônica ou crônica).

As taxas RFC foram obtidas através do banco de dados existentes no Integrated Risk Information System (IRIS), que faz parte da US.EPA (EPA, 2024).

O HQ é a proporção da exposição potencial à substância e o nível no qual não são esperados efeitos adversos. Um $\text{HQ} < 1$ significa que os níveis de exposição a um químico não devem levar a efeitos adversos à saúde. Por outro lado, um $\text{HQ} > 1$ significa que efeitos adversos à saúde são possíveis. (KUMARI *et al.*, 2023, MARTINS *et al.*, 2019). O HQ deve ser interpretado como a probabilidade de um indivíduo dentro da população sofrer algum dano à saúde, sendo necessário compreender isso como uma chance de que a ocorrência do dano seja alta ou baixa. Portanto, quanto maior o valor do QR acima de um, maior será a relevância da exposição ao agente químico (BORILLO, 2015).

3.13 Índice de perigo (HI)

Para determinar o índice de perigo, foi utilizada a Equação 4:

$$HI = \sum_{i=1}^n HQ \quad (4)$$

Fonte: US.EPA, 2009.

Os valores de HQ são aplicados a contaminantes individuais. O índice de perigo (HI) é calculado pela soma de vários valores de HQ, representando assim o nível de risco cumulativo não cancerígeno decorrente da inalação de múltiplos poluentes. Um índice de perigo (HI) de 1 ou menor significa que é improvável que as toxinas do ar causem efeitos adversos não cancerígenos durante uma vida de exposição

Esse índice tem relevância quando há agentes que tem os mesmos mecânicos de ação, ou seja, atuam simultaneamente ou tem mesmos efeitos similares a saúde (FANDIL *et al.*, 2020; CETEM, 2005).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Deste ponto em diante, serão apresentados os resultados dos monitoramentos de BTEX, HPAs e a avaliação de risco à saúde. Os dados foram tratados por meio de estatística descritiva, utilizando o software R 4.4.0, considerando um nível de significância de 5 %.

Os resultados serão apresentados por meio da análise de Tabelas e de Gráficos do tipo box plot, que permitirão observar a mediana, os quartis, os extremos e possíveis *outliers*. Além disso, foi adotada a análise de correlação de Spearman, que avalia a associação entre duas variáveis contínuas ou ordinais, e foi verificado que nem todas as variáveis seguiam uma distribuição normal. O coeficiente de Spearman (ρ) varia entre -1 e 1; quanto mais próximo desses extremos, maior é a associação entre as variáveis. Um coeficiente negativo indica que as variáveis têm uma relação inversa, ou seja, valores mais altos de uma variável estão associados a valores mais baixos da outra variável (CARVALHO, 2016). A Tabela 15 demonstra a distribuição das amostras nos locais de amostragem.

Tabela 15 - Total de amostras coletadas por ponto de amostragem

Ponto de amostragem	BTEX	HPA
P1 - Entrada/recepção dos motores	11	7
P2 - Meio /Usinagem	11	7
P3 Lavagem das peças.	11	8
Total	33	22

As amostras foram coletadas durante 11 dias, nos meses de outubro e dezembro de 2023

Fonte: Elaborada pelo autor.

4.1 Resultados BTEX

A Tabela 16 apresenta os resultados por áreas de amostragem P1, P2 e P3, respectivamente, em $\mu\text{g m}^{-3}$. As concentrações inferiores ao Limite de quantificação - LQ receberam um valor igual à metade do LQ para Gráficos e análises estatísticas (BARBEAU *et al.*, 2015).

Tabela - 16 - Concentrações médias, máximas, mínimas, desvio padrão e mediana para as amostras de BTEX

Ponto de amostragem		Concentração dos compostos avaliados em ($\mu\text{g m}^{-3}$)				
		Benzeno	Tolueno	Etilbenzeno	m+p-Xileno	o-xileno
P1 - Entrada/recepção dos motores	Média	16,24	68,21	28,09	38,72	22,15
	Máximo	46,91	291,74	110,33	154,59	102,67
	Mínimo	<LQ	7,20	3,83	6,43	3,89
	Desvio padrão	18,52	82,27	31,54	43,29	28,57
	Mediana	2,81	44,05	18,62	22,47	10,69
P2 - meio/usinagem	Média	57,80	191,02	75,63	109,44	65,84
	Máximo	199,36	536,73	179,61	272,99	169,47
	Mínimo	< LQ	17,73	20,07	35,14	21,51
	Desvio padrão	73,69	158,63	56,83	76,80	50,42
	Mediana	0,02	153,95	49,56	72,68	43,05
P3 - lavagem de peças	Média	119,20	551,74	251,30	324,21	239,48
	Máximo	601,86	2052,68	714,04	889,95	641,66
	Mínimo	<LQ	31,62	8,95	12,62	6,41
	Desvio padrão	185,63	578,40	218,95	267,16	199,55
	Mediana	14,10	382,95	141,32	203,17	157,49

Fonte: Elaborada pelo autor.

4.2 Comparação das concentrações de BTEX nos pontos de amostragem p1, p2 e p3

O benzeno no ponto P1 apresentou uma concentração média de $16,24 \mu\text{g m}^{-3}$ com um valor máximo de $46,91 \mu\text{g m}^{-3}$. No ponto P2, a concentração média foi de $57,80 \mu\text{g m}^{-3}$, atingindo um pico de $199,36 \mu\text{g m}^{-3}$. No ponto P3, a concentração média registrada foi de $119,20 \mu\text{g m}^{-3}$ com uma concentração máxima de $601,86 \mu\text{g m}^{-3}$. O benzeno foi o único agente que apresentou concentrações abaixo do limite de quantificação (LQ). O ponto P3 demonstrou

a maior variabilidade, com a média mais alta, o maior desvio padrão e a maior concentração máxima.

O tolueno no ponto P1 apresentou uma concentração média de $68,21 \mu\text{g m}^{-3}$ com um valor máximo de $291,74 \mu\text{g m}^{-3}$. No ponto P2, a concentração média foi de $191,02 \mu\text{g m}^{-3}$, atingindo um pico de $536,73 \mu\text{g m}^{-3}$. No ponto P3, a concentração média registrada foi de $551,74 \mu\text{g m}^{-3}$ com uma concentração máxima de $2052,67 \mu\text{g m}^{-3}$. P3 tem a maior variabilidade entre os pontos e as maiores concentrações de tolueno.

O etilbenzeno no ponto P1 apresentou uma concentração média de $28,09 \mu\text{g m}^{-3}$ com um valor máximo de $110,33 \mu\text{g m}^{-3}$. No ponto P2, a concentração média foi de $75,63 \mu\text{g m}^{-3}$, atingindo um pico de $179,61 \mu\text{g m}^{-3}$. No ponto P3, a concentração média registrada foi de $324,20 \mu\text{g m}^{-3}$ com uma concentração máxima de $889,95 \mu\text{g m}^{-3}$. P3 tem a maior variabilidade entre os pontos e as maiores concentrações.

O m+p-Xileno no ponto P1 apresentou uma concentração média de $38,72 \mu\text{g m}^{-3}$ com um valor máximo de $154,59 \mu\text{g m}^{-3}$. No ponto P2, a concentração média foi de $109,44 \mu\text{g m}^{-3}$, atingindo um pico de $272,99 \mu\text{g m}^{-3}$. No ponto P3, a concentração média registrada foi de $324,21 \mu\text{g m}^{-3}$ com uma concentração máxima de $889,95 \mu\text{g m}^{-3}$. P3 tem a maior variabilidade entre os pontos e as maiores concentrações.

O o-xileno no ponto P1 apresentou uma concentração média de $22,15 \mu\text{g m}^{-3}$ com um valor máximo de $102,67 \mu\text{g m}^{-3}$. No ponto P2, a concentração média foi de $65,84 \mu\text{g m}^{-3}$, atingindo um pico de $169,47 \mu\text{g m}^{-3}$. No ponto P3, a concentração média registrada foi de $239,48 \mu\text{g m}^{-3}$ com uma concentração máxima de $641,65 \mu\text{g m}^{-3}$. P3 tem a maior variabilidade entre os pontos e as maiores concentrações.

O ponto 3 (lavagem de peças) apresentou as maiores concentrações de BTEX em relação aos outros pontos de amostragem. O ponto 2 exibiu concentrações elevadas, ficando em segundo lugar, enquanto o ponto 1 registrou as menores concentrações. Comparando o ponto 3 com o ponto 1, observa-se que a concentração média de benzeno no ponto 3 é 634% maior. Para o tolueno, a concentração no ponto 3 é 708,9% superior à do ponto 1. No caso do etilbenzeno, a concentração no ponto 3 é 794,6% maior. Para o m+p-xileno, a concentração no ponto 3 é 737,3% superior à do ponto 1, enquanto para o xileno, a concentração no ponto 3 é 981,1% maior do que no ponto 1.

Considerando que o ponto 3 é o local onde ocorrem as lavagens dos motores e suas peças, há neste local uma bacia contendo gasolina e diesel, usados na limpeza. Além disso, resíduos de óleos lubrificantes e combustíveis provenientes dos motores e peças lavadas são constantemente encontrados nesse local. A alta variabilidade também está associada ao

número de peças/motor lavadas e/ou armazenadas neste local, não foi possível estimar uma média de operação, pois as atividades ocorrem sob demanda. Com base nesses aspectos o ponto 3 é a principal fonte de exposição no ambiente.

No ponto 2 ocorre a usinagem das peças, as quais já passaram pela lavagem; porém, esse local fica a uma distância de menos de 5 metros em relação ao ponto 3. Sendo assim, é possível que haja o deslocamento dos COVs do ponto 3 em direção ao ponto 2. Cabe destacar que na usinagem são utilizados óleos lubrificantes durante o uso dos equipamentos, sendo estes uma fonte de emissão.

O ponto 1 não tem uma atividade operacional diferente dos demais, porém os motores que são levados por terceiros ficam posicionados nesse local. Motores que não foram limpos pode ser uma fonte de COVs, embora isso não seja contínuo. Durante a observação das atividades, verificou-se que estes motores ficam pouco tempo na recepção, sendo logo enviados para limpeza.

Foi realizado o monitoramento da temperatura com um termo anemômetro, verificando-se que o ambiente mantinha uma média de temperatura acima de 29° C, com máximas de 34,9° C. A amplitude térmica entre o início e o fim do dia chegava a 4° C. Desta forma considerando a volatilidade dos COVs avaliados, esse fator também é relevante, levando em conta que o aumento da temperatura acelera a taxa de emissão de COVs.

O box plot (Figura 28), demonstra as variações entre as concentrações do BTEX, sendo possível a partir deles tirar conclusões que são similares aos descritos na Tabela 16. Para o benzeno, observa-se que no ponto de amostragem P1 a mediana é de 2,81 $\mu\text{g m}^{-3}$, com uma distribuição dos dados que indica uma assimetria positiva, onde mais de 50% das concentrações estão abaixo da mediana. Os dados tem uma distribuição central (50%) entre 0,02 $\mu\text{g m}^{-3}$ e 25, $\mu\text{g m}^{-3}$. Em P2, a mediana é praticamente nula (0,02 $\mu\text{g m}^{-3}$), sugerindo uma grande parte dos dados abaixo do limite de quantificação, os dados têm uma distribuição central (50%) entre 0,02 e 108, 44 $\mu\text{g m}^{-3}$. Enquanto no ponto P3, a mediana de 14,10 $\mu\text{g m}^{-3}$ reflete uma maior concentração de benzeno na área de lavagem, com uma distribuição assimétrica que apresenta valores extremos elevados, os dados têm uma distribuição central (50%) 0,02 e 180, 54 $\mu\text{g m}^{-3}$. A mediana no Ponto 3 é 5 vezes maior que a mediana no Ponto 1.

Para o tolueno, a mediana no ponto P1 é de 44,05 $\mu\text{g m}^{-3}$, com uma distribuição dos dados que exibe uma assimetria negativa, indicando que 50% das concentrações estão concentradas em valores mais baixos, os dados têm uma distribuição central (50%) entre 21,83 $\mu\text{g m}^{-3}$ e 64,38 $\mu\text{g m}^{-3}$. No ponto P2, a mediana é de 153,95 $\mu\text{g m}^{-3}$, sugerindo uma maior

concentração de dados entre aproximadamente 100 e 200 $\mu\text{g m}^{-3}$, os dados têm uma distribuição central (50%) entre 65,05 $\mu\text{g m}^{-3}$ e 285,71 $\mu\text{g m}^{-3}$. No ponto P3, a mediana aumenta significativamente para 382,95 $\mu\text{g m}^{-3}$, com uma distribuição mais ampla e assimétrica, refletindo as elevadas concentrações de tolueno na área de lavagem, os dados têm uma distribuição central (50%) entre 129,48 $\mu\text{g m}^{-3}$ e 737,87 $\mu\text{g m}^{-3}$. A mediana no ponto 3 é 8,69 vezes maior que no ponto 1

No caso do etilbenzeno, a mediana em P1 é de 18,62 $\mu\text{g m}^{-3}$, estando mais próxima do primeiro quartil, o que indica uma assimetria positiva, com concentrações geralmente mais baixas, os dados têm uma distribuição central (50%) entre 10,26 $\mu\text{g m}^{-3}$ e 47,85 $\mu\text{g m}^{-3}$. Em P2, a mediana sobe para 49,56 $\mu\text{g m}^{-3}$, com uma distribuição mais equilibrada, porém ainda assimétrica, os dados têm uma distribuição central (50%) entre 41,13 $\mu\text{g m}^{-3}$ e 93,67 $\mu\text{g m}^{-3}$. No ponto P3, a mediana de 141,32 $\mu\text{g m}^{-3}$ indica uma maior dispersão das concentrações, os dados têm uma distribuição central (50%) entre 99,83 $\mu\text{g m}^{-3}$ e 385,50 $\mu\text{g m}^{-3}$ com uma assimetria que sugere concentrações elevadas na área de lavagem. A mediana no Ponto 3 é 7,59 vezes maior do que no Ponto 1

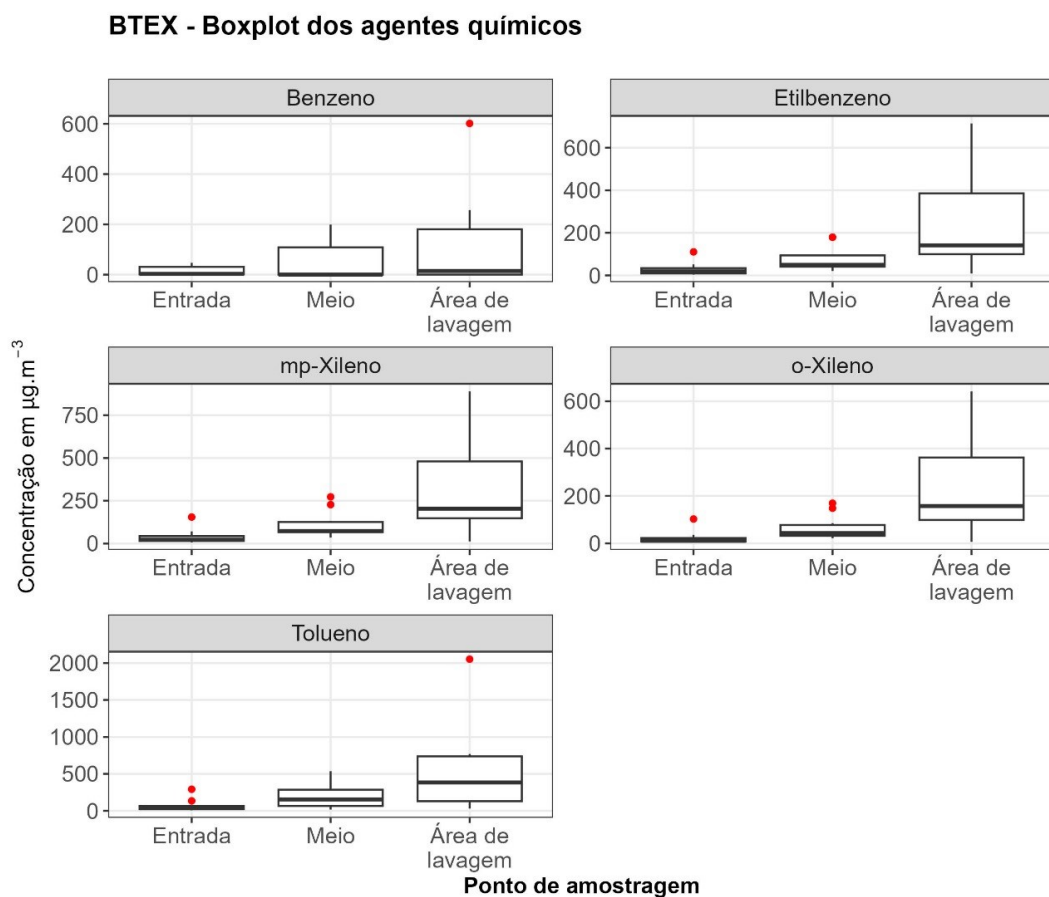
Os isômeros m+p-xilenos em P1 mostram uma mediana de 22,47 $\mu\text{g m}^{-3}$, com uma distribuição simétrica, os dados têm uma distribuição central (50%) entre 14,68 $\mu\text{g m}^{-3}$ e 43,01 $\mu\text{g m}^{-3}$. Em P2, a mediana aumenta para 72,68 $\mu\text{g m}^{-3}$, com uma leve assimetria positiva, os dados têm uma distribuição central (50%) entre 66,40 $\mu\text{g m}^{-3}$ e 126,16 $\mu\text{g m}^{-3}$. Já no ponto P3, a mediana atinge 203,17 $\mu\text{g m}^{-3}$, com uma distribuição mais ampla e simétrica, os dados têm uma distribuição central (50%) entre 147,83 $\mu\text{g m}^{-3}$ e 479,99 $\mu\text{g m}^{-3}$ indicando que as concentrações de m+p-xilenos são mais elevadas e dispersas na área de lavagem. A mediana no Ponto 3 é 9,04 vezes maior do que no Ponto 1

Por fim, o o-xileno apresenta em P1 uma mediana de 10,69 $\mu\text{g m}^{-3}$, próxima ao valor mínimo e ao primeiro quartil, sugerindo uma assimetria negativa, com a maioria das concentrações em níveis baixos, os dados têm uma distribuição central (50%) entre 8,04 $\mu\text{g m}^{-3}$ e 22,18 $\mu\text{g m}^{-3}$. Em P2, a mediana é de 43,05 $\mu\text{g m}^{-3}$, com uma distribuição ligeiramente assimétrica, os dados têm uma distribuição central (50%) entre 32,00 $\mu\text{g m}^{-3}$ e 77,74 $\mu\text{g m}^{-3}$. No ponto P3, a mediana sobe para 157,49 $\mu\text{g m}^{-3}$, os dados têm uma distribuição central (50%) entre 98,93 $\mu\text{g m}^{-3}$ e 361,98 $\mu\text{g m}^{-3}$ com uma distribuição mais ampla que sugere maiores concentrações de o-xileno na área de lavagem. A mediana no Ponto 3 é 14,7 vezes maior do que no Ponto 1

Em todos os pontos, observa-se que a Área de Lavagem (P3) apresenta as maiores medianas e uma maior dispersão das concentrações, indicando que as atividades realizadas nesse local resultam em concentrações elevadas e variadas de BTEX.

Quanto aos outliers observados nos Gráficos, estes não foram desconsiderados, tendo em vista que não houve erro ou modificações nos métodos de coleta. A maioria dos outliers foi observada no primeiro dia de coleta, quando, por meio de observação qualitativa, verificou-se uma maior produtividade, ou seja, um maior número de peças.

Figura 28 - Boxplot das concentrações de BTEX por ponto de amostragem



Fonte: Elaborada pelo autor.

Badjagbo *et al.* (2010) realizaram monitoramento de BTEX em um grupo de oficinas mecânicas no Canadá, o qual após a compilação dos resultados foi verificado que as concentrações médias no interior da oficina do maior para o menor ocorriam na seguinte relação tolueno > xilenos > etilbenzeno > benzeno. Os resultados desse estudo estão similares ao estudo feito no Canadá quanto a distribuição mássica dos BTEX.

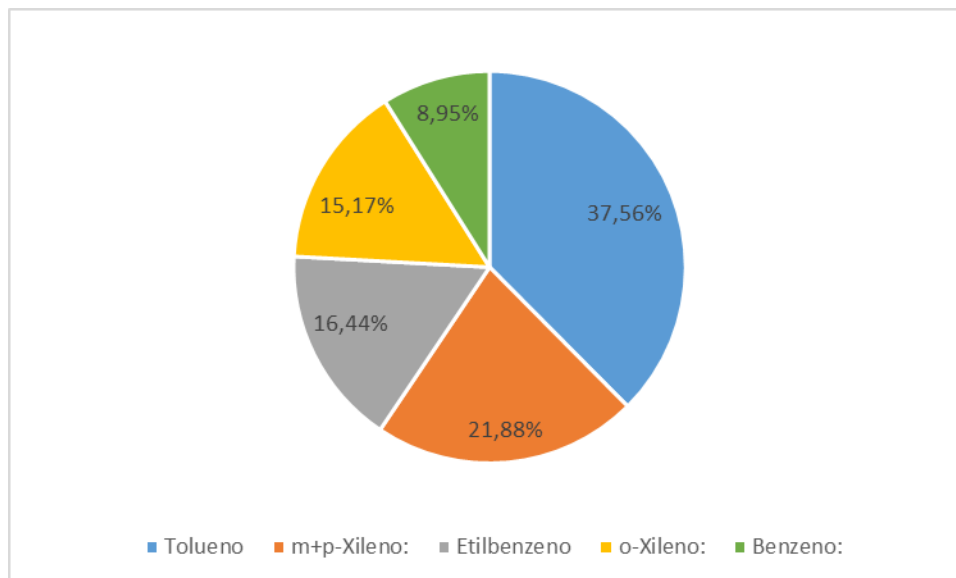
Tabela 18 - Concentração média de BTEX de todos os pontos de amostragem

Agente avaliado	Média em ($\mu\text{g.m}^{-3}$)
Tolueno	270,32
m+p-xileno	157,46
Etilbenzeno	118,34
Oxileno	109,16
Benzeno	64,41

Fonte: Elaborada pelo autor.

Em relação à proporção de cada composto na média da amostra total, o tolueno é o mais prevalente e o benzeno o menos prevalente, conforme demonstrado no Gráfico 3. Esta condição também é idêntica ao estudo de Badjagbo *et al* (2010).

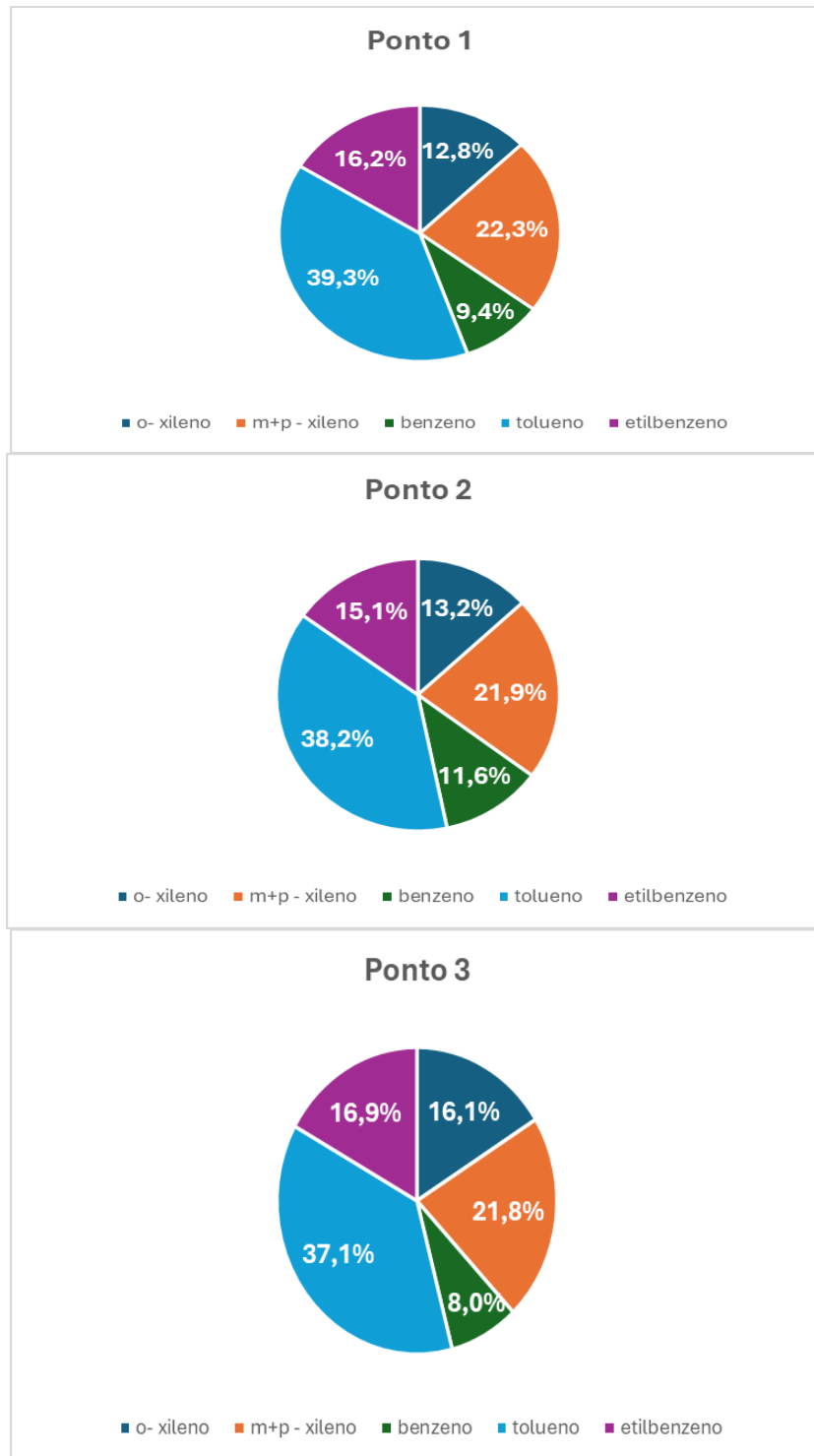
Gráfico 3 - Distribuição mássica da composição média de BTEX nos três pontos



Fonte: Elaborado pelo autor.

Conforme descrito no Gráfico 4, o tolueno apresenta a maior concentração de massa no ponto 1, com 39,3%, seguido pelo ponto 2, com 38,2%, e pelo ponto 3, com 37,1%. O m+p-xileno tem a maior representatividade no ponto 1, com 22,3%, seguido pelo ponto 2, com 21,9%, e pelo ponto 3, com 21,8%. O o-xileno tem sua maior representatividade no ponto 3, com 16,1%, seguido pelo ponto 2, com 13,2%, e pelo ponto 1, com 12,8%. O benzeno apresenta a maior concentração de massa no ponto 2, com 11,6%, seguido pelo ponto 1, com 9,4%, e pelo ponto 3, com 8%. Foi aplicada a correlação de spearman para avaliar a força das variáveis e sua relação entre si, sendo apresentadas na Figura 29.

Gráfico 4 - Distribuição mássica da composição média de BTEX por ponto de amostragem



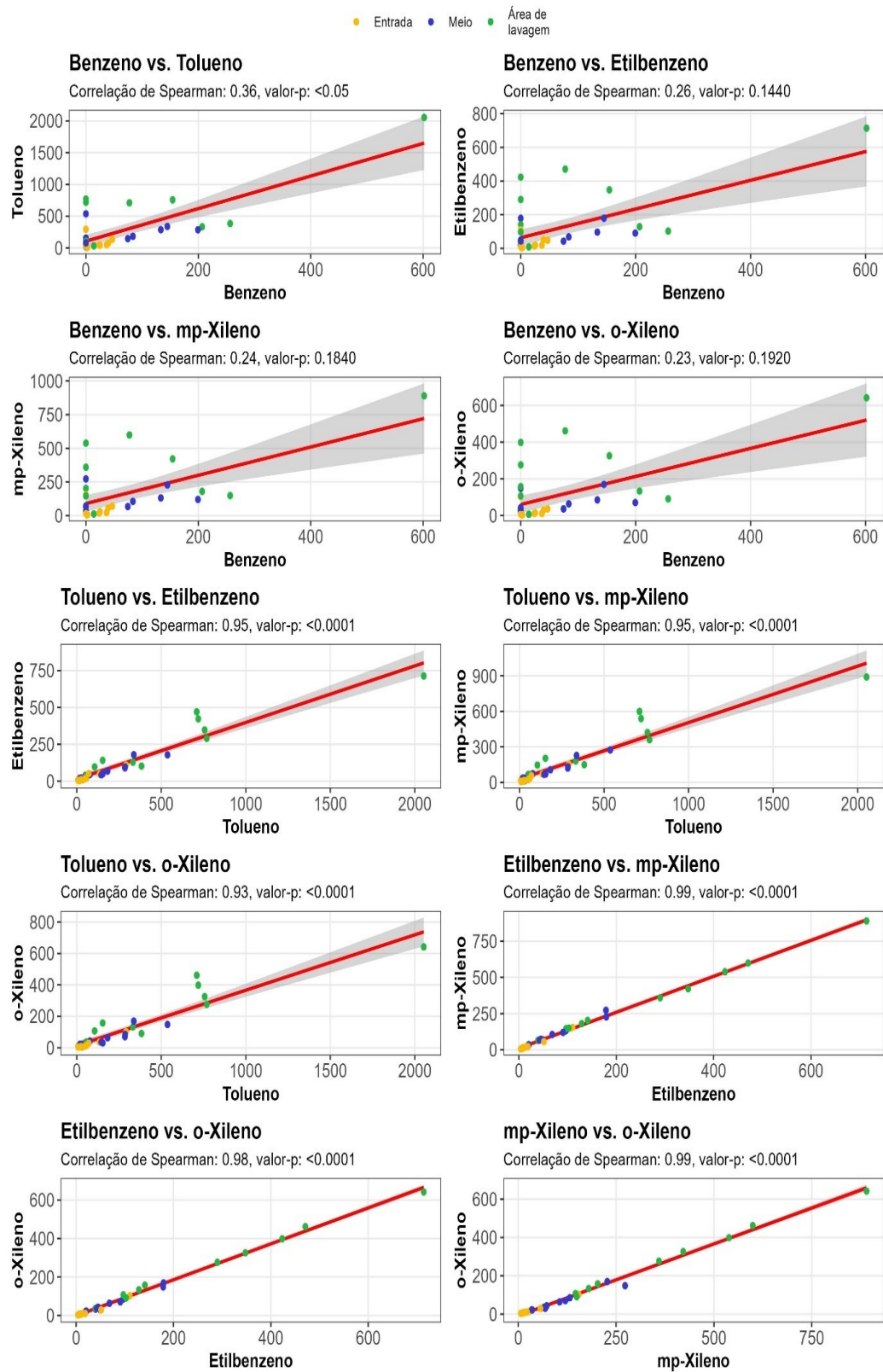
Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 29 apresenta a correlação de spearman entre os compostos químicos BTEX, distinguindo as diferentes regiões de coleta das amostras. Algumas correlações foram estatisticamente significativas, conforme descrito a seguir: benzeno e tolueno ($R = 0,36$, valor- $p < 0,05$); tolueno e etilbenzeno ($R = 0,95$, valor- $p < 0,0001$); tolueno e m+p-xileno ($R = 0,95$, valor- $p < 0,05$); tolueno e o-xileno ($R = 0,93$, valor- $p < 0,05$); etilbenzeno e m+p-xileno ($R = 0,99$, valor- $p < 0,05$); etilbenzeno e o-xileno ($R = 0,98$, valor- $p < 0,05$); e m+p-xileno e o-xileno ($R = 0,99$, valor- $p < 0,05$).

O benzeno demonstra uma correlação bastante baixa com os demais compostos do BTEX, atingindo no máximo um coeficiente de 0,36 em relação ao tolueno, o que caracteriza uma correlação positiva moderada. As demais correlações permaneceram abaixo de 0,3, indicando que essas variáveis não apresentam uma relação diretamente proporcional. Esse padrão pode sugerir que o benzeno tem uma fonte de emissão distinta em comparação com os outros compostos do grupo BTEX.

A análise das correlações revelou que o tolueno e o etilbenzeno apresentam uma forte associação ($R = 0,95$, valor- $p < 0,0001$), sugerindo que as concentrações desses dois compostos tendem a variar juntas de maneira consistente. De forma semelhante, a correlação entre o tolueno e o m+p-xileno ($R = 0,95$, valor- $p < 0,05$) implica que as variações nas concentrações de tolueno estão fortemente associadas às variações nas concentrações de m+p-xileno. A correlação entre o tolueno e o-xileno ($R = 0,93$, valor- $p < 0,05$) também indica que as concentrações desses compostos tendem a aumentar ou diminuir juntas. Além disso, a correlação positiva extremamente forte entre etilbenzeno e m+p-xileno ($R = 0,99$, valor- $p < 0,05$) sugere que suas concentrações estão quase perfeitamente alinhadas, de modo que, quando a concentração de etilbenzeno aumenta, a concentração de m+p-xileno também aumenta de forma consistente. Há também uma correlação positiva muito forte entre etilbenzeno e o-xileno ($R = 0,98$, valor- $p < 0,05$), indicando que as concentrações desses compostos variam juntas de maneira altamente consistente. Por fim, a correlação positiva extremamente forte entre m+p-xileno e o-xileno ($R = 0,99$, valor- $p < 0,05$) indica que suas concentrações variam quase perfeitamente juntas, sugerindo que essas duas formas de xileno têm fontes comuns ou comportamentos de dispersão muito semelhantes.

Figura 29 - Correlação de spearman dos compostos BTEX

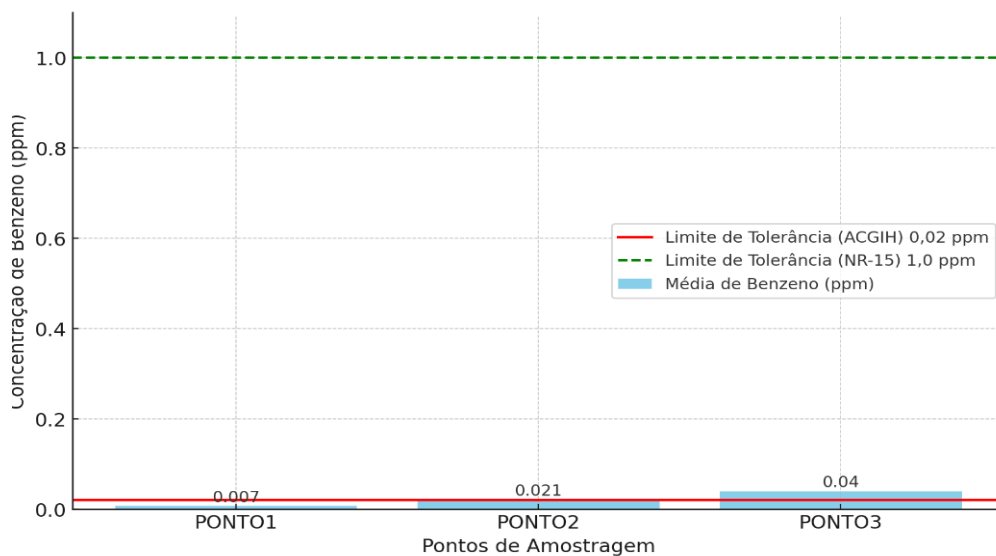


Fonte: Elaborada pelo autor.

4.3 Comparação das concentrações médias de BTEX e limites de exposições ocupacionais

Dentre os componentes do BTEX, apenas o benzeno apresentou concentrações médias acima dos limites de exposição ocupacional. O Gráfico 5 ilustra a comparação das médias por ponto de amostragem em relação ao limite da ACGIH, que é o mais restritivo, e ao limite da NR 15, que é o padrão nacional. Visando facilitar o entendimento, considerando que os limites ocupacionais estão em ppm, os Gráfico foram parametrizados para ppm. O Gráfico 5 mostra que a concentração média no Ponto 2, de 0,021 ppm, ficou 5% acima do limite de tolerância, enquanto no Ponto 3, a concentração de 0,04 ppm, ficou 100% acima do limite permitido.

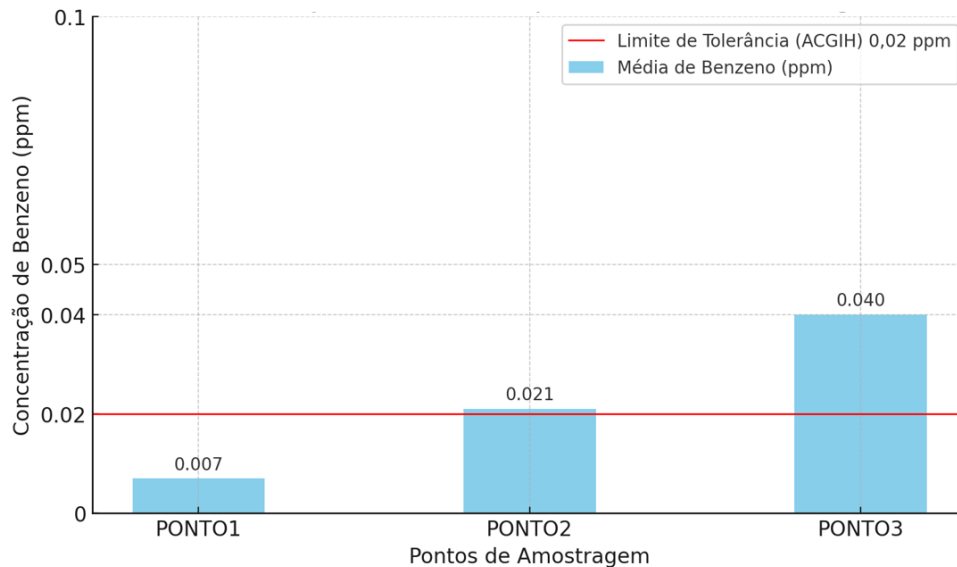
Gráfico 5 – Comparação da Médias de benzeno por ponto de amostragem com o limite de exposição ocupacional da ACGIH e NR 15



Fonte: Elaborado pelo autor.

Dado que a amplitude entre os limites da ACGIH (0,02 ppm) e NR-15 (1,0 ppm) é muito grande, o Gráfico 6 foi gerado com foco apenas na comparação com o limite da ACGIH. Isso permite uma melhor visualização das concentrações de benzeno em relação a esse limite, destacando as diferenças mais sutis e facilitando a interpretação dos dados. Essa abordagem é útil para tornar visíveis concentrações baixas que poderiam ser ofuscadas ao comparar com o limite muito superior da NR-15.

Gráfico 6 – Comparação da Médias de benzeno por ponto de amostragem com o limite de exposição ocupacional da ACGIH



Fonte: Elaborado pelo autor.

Dos 11 dias de coletas, no Ponto 3, cinco dias apresentaram concentrações acima do limite de tolerância, correspondendo a 45,45% do total, no Ponto 2, foram quatro dias, correspondendo a 36,36% do total. O Ponto 1 não teve nenhuma concentração acima do limite de tolerância. No Ponto 1, houve três concentrações que excederam o Nível de Ação, correspondente a 27,27% do total. O nível de ação é entendido como a concentração acima da qual devem ser implementadas ações de controle sistemático para minimizar a probabilidade de que as exposições ocupacionais ultrapassem os limites de exposição, essa concentração é a metade do limite de exposição, ou seja, para benzeno é 0,01 usando a ACGIH como referência (BRASIL, MTE, 2021).

A Tabela 19 apresenta as concentrações que excederam o limite de exposição e o nível de ação, comparando-as com o limite de exposição ocupacional da ACGIH. O Ponto 3 apresentou a maior concentração em relação ao limite de exposição, estando 840% acima desse limite, seguido do Ponto 2, que teve um dia com concentração 210% acima do limite. Tanto o Ponto 3 quanto o Ponto 2 tiveram três dias em que o limite foi ultrapassado simultaneamente: nos dias 26/10/2023, 06/12/2023 e 07/12/2023.

Tabela 19 - Concentrações de benzeno acima do limite de exposição ocupacional e do nível de ação		
Data da coleta	Concentração de benzeno em ppm - P3	Comparação com o limite de exposição ocupacional da ACGIH -(0,02 ppm)
17/10/2023	0,188	A concentração está 840% acima do limite
26/10/2023	0,065	A concentração está 225% acima do limite
04/12/2023	0,080	A concentração está 300% acima do limite
06/12/2023	0,048	A concentração está 140% acima do limite
07/12/2023	0,024	A concentração está 20% acima do limite
-	Concentração de benzeno em ppm- P2	--
25/10/2023	0,042	A concentração está 110% acima do limite
26/10/2023	0,026	A concentração está 30% acima do limite
06/12/2023	0,062	A concentração está 210% acima do limite
07/12/2023	0,045	A concentração está 125% acima do limite
-	Concentração de benzeno em ppm- P1	-
17/10/2023	0,015	A concentração está 50% acima do nível de ação
06/12/2023	0,012	A concentração está 20% acima do nível de ação
07/12/2023	0,012	A concentração está 50% acima do nível de ação

Fonte: Elaborada pelo autor.

A NR 09 - Avaliação e Controle das Exposições Ocupacionais a Agentes Físicos, Químicos e Biológicos, que estabelece que, para fins de prevenção, devem ser adotados os critérios e limites de tolerância constantes na NR 15 (BRASIL, 2021). Conforme discutido no capítulo 3.8, os limites de exposição ocupacional brasileiros não acompanharam o desenvolvimento e a atualização dos critérios internacionais, em especial os limites da ACGIH, que foram utilizados como base pelo legislador na época da elaboração da NR 15 - Insalubridade. Este resultado demonstra a ineficácia desses valores de referência como indicadores para a proteção da saúde do trabalhador. Se adotássemos os padrões estabelecidos por esses dispositivos, esta exposição estaria dentro dos limites de tolerância, e não demandariam intervenções para seu controle.

4.4 Comparação das concentrações médias de BTEX com estudos científicos

Durante a revisão bibliográfica, os estudos relacionados ao BTEX em ambientes internos ocupacionais, especificamente voltados para oficinas mecânicas que realizam atividades de retífica de motores, mostraram-se bastante limitados. A maioria dos estudos sobre a emissão de BTEX em oficinas focava nas atividades que envolvem processos de pintura. Além disso, há diversos trabalhos relacionados à exposição ocupacional a BTEX em postos de gasolina. Com base neste escopo foi escolhido um estudo comparativo, focado na avaliação de BTEX em ambientes ocupacionais em oficinas mecânicas de reparo de automóveis, o qual teriam similaridade com os processos de uma retífica de motores, em especial no que diz respeito a fontes de emissão, metodologia de amostragem, porte, número de funcionários e perfil de localização.

O estudo realizado por Badjagbo *et al.* (2010) coletou BTEX em oficinas de reparo de automóveis no Canadá. Esse estudo foi realizado em duas oficinas distintas: uma com ventilação natural e a outra com ventilação mecânica e natural. Além disso, foram oficinas de pequeno porte com seis a oito funcionários. As coletas ocorreram por quatro dias consecutivos em ambas. Devido à oficina de retífica de motor, objeto deste estudo, não dispor de ventilação mecânica, os dados comparativos serão da oficina com ventilação natural.

A Tabela 20 apresenta um comparativo as concentrações médias deste estudo com outros trabalhos realizados em ambientes ocupacionais e que tiveram como foco avaliação de BTEX.

Tabela 20 - Comparativa entre as concentrações médias de BTEX ($\mu\text{g m}^{-3}$) realizadas em ambientes ocupacionais

Agente	Estudo atual - Média concentrações dos três pontos de amostragem	Badjagbo <i>et al.</i> (2010) Oficina de reparo de automóveis	Khalili e Nasrabadi (2023) Oficina de reparo de aeronaves	Figueiredo, 2018 Posto de gasolina 1	Martins <i>et al.</i> (2019) Oficina carpintaria e pintura
Benzeno	64,41	23	124	23,3	3,6
Etilbenzeno	118,34	34	2.405	9,0	284
Tolueno	270,32	308	2.972	21	788,3
m+p xileno	157,46	132 (não realizaram a separação dos isômeros)	7.6515 (não realizaram a separação dos isômeros)	32,7	484,6
o-xileno	109,16			10,2	265,9

No estudo atual, a concentração média de benzeno foi de $64,41 \mu\text{g m}^{-3}$, sendo 2,8 vezes maior que a encontrada no estudo de Badjagbo *et al.* (2010) em oficinas de reparo de automóveis, 2,76 vezes maior que no estudo realizado em um posto de gasolina e 17,8 vezes maior que no estudo conduzido em uma oficina de carpintaria e pintura. A média de benzeno do presente estudo só não foi superior quando comparada ao monitoramento realizado em uma oficina de aeronaves.

Para o etilbenzeno, o estudo atual reportou uma concentração de $118,34 \mu\text{g m}^{-3}$. Em comparação, Badjagbo *et al.* (2010) registraram $34 \mu\text{g m}^{-3}$ e Figueiredo (2018) observou $9,0 \mu\text{g m}^{-3}$, o resultado deste estudo é respectivamente maior em 3,48 vezes e 13,15 vezes. Khalili e Nasrabadi (2023) encontraram $2405 \mu\text{g m}^{-3}$, muito superior ao valor do estudo atual. Martins *et al.* (2019) encontraram $284 \mu\text{g m}^{-3}$, que é maior que o valor deste estudo.

No caso do tolueno, o estudo atual reportou $270,32 \mu\text{g m}^{-3}$. Comparando com outros estudos, observa-se que essa concentração é aproximadamente 0,88 vezes menor que a encontrada no estudo de Badjagbo *et al.* (2010) ($308 \mu\text{g m}^{-3}$), 90,96 vezes menor que a

observada no estudo de Khalili e Nasrabadi (2023) ($2972 \mu\text{g m}^{-3}$) e, em relação ao estudo de Martins et al. (2019) ($788,3 \mu\text{g m}^{-3}$), é 2,92 vezes menor.

Para m+p xileno, o estudo atual encontrou $157,46 \mu\text{g m}^{-3}$. Badjagbo *et al.* (2010) relataram $132 \mu\text{g m}^{-3}$, onde não houve separação dos isômeros, o estudo atual é maior 1,19 vezes. q Khalili e Nasrabadi (2023) encontraram $76515 \mu\text{g m}^{-3}$, sem separação dos isômeros, um valor muito superior ao do estudo atual. Figueiredo (2018) observou uma concentração muito menor, de $32,7 \mu\text{g m}^{-3}$, enquanto Martins *et al.* (2019) relataram $484 \mu\text{g m}^{-3}$, que é maior que este estudo.

Por fim, para o o-xileno, o estudo atual reportou $109,155 \mu\text{g m}^{-3}$. Não há dados disponíveis sobre o o-xileno nos estudos de Badjagbo *et al.* (2010), enquanto Martins *et al.* (2019) encontraram $265 \mu\text{g m}^{-3}$, que é maior que o valor do estudo atual.

É possível verificar que este estudo apresenta concentrações significativas de BTEX em comparação com outros ambientes ocupacionais. Isolando a análise apenas para uma atividade similar, como a de uma oficina mecânica monitorada por Badjagbo *et al.* (2010), as concentrações atuais estão em níveis superiores, especialmente para o benzeno. Os valores obtidos no presente trabalho para o benzeno são cerca de 2,8 vezes maiores do que os valores reportados na pesquisa canadense. Se considerarmos a média de $119,20 \mu\text{g m}^{-3}$ no ponto 3, a concentração é 5,18 vezes maior."

As concentrações medidas de benzeno nos pontos, P2 e P3 estão acima dos limites de exposição da ACGIH, que é de 0,02 ppm, apenas o estudo realizado na oficina de reparo de aeronaves apresentou concentrações acima dos limites.

4.5 Resultados - HPAs

A Tabela 21 apresenta os resultados por áreas de amostragem em $\mu\text{g m}^{-3}$. As concentrações inferiores ao limite de quantificação- -LQ receberam um valor igual à metade do LQ para Gráficos e análises estatísticas (Barbeau *et al.*, 2015). Quanto a avaliação de HPAs, apenas houve a identificação dos seguintes compostos nas amostras: Fluoreno, e Fenantreno. Era esperado que fossem identificadas também naftaleno, porém não houve detecção deste composto.

Tabela 21 - Concentrações médias, máximas, mínimas, desvio padrão e mediana para as amostras de HPAs -

Ponto de amostragem		Concentração dos compostos avaliados em ($\mu\text{g m}^{-3}$)	
		Fluoreno	Fenantreno
P1 - Entrada/recepção dos motores	Média	0,18	0,01
	Máximo	0,75	0,03
	Mínimo	0,05	<LQ
	Desvio padrão	0,25	0,01
	Mediana	0,09	0,02
P2 - meio/usinagem	Média	0,31	0,06
	Máximo	0,40	0,12
	Mínimo	0,186	<LQ
	Desvio padrão	0,08	0,04
	Mediana	0,33	0,05
P3 - lavagem de peças	Média	0,40	0,16
	Máximo	0,75	0,56
	Mínimo	<LQ	<LQ
	Desvio padrão	0,28	0,17
	Mediana	0,48	0,11

Fonte: Elaborada pelo autor.

4.6 Comparações das concentrações de HPAs nos postos de amostragem p1, p2 e p3

O fluoreno no ponto P1 apresentou uma concentração média de $0,18 \mu\text{g m}^{-3}$ com um valor máximo de $0,75 \mu\text{g m}^{-3}$. No ponto P2, a concentração média foi de $0,31 \mu\text{g m}^{-3}$, atingindo um pico de $0,40 \mu\text{g m}^{-3}$. No ponto P3, a concentração média registrada foi de $0,40 \mu\text{g m}^{-3}$ com uma concentração máxima de $0,75 \mu\text{g m}^{-3}$. O ponto 3 foi o único ponto que apresentou concentrações abaixo do limite de quantificação (LQ). O ponto P2 revelou a menor variabilidade. No ponto P1, observou-se uma maior variabilidade, em relação ao ponto

2. O ponto P3 demonstrou a maior variabilidade, com a média mais alta, o maior desvio padrão e a maior concentração máxima.

O Fenantreno no ponto P1 apresentou uma concentração média de $0,01 \mu\text{g m}^{-3}$ com um valor máximo de $0,03 \mu\text{g m}^{-3}$. No ponto P2, a concentração média foi de $0,06 \mu\text{g m}^{-3}$, atingindo um pico de $0,12 \mu\text{g m}^{-3}$. No ponto P3, a concentração média registrada foi de $0,16 \mu\text{g m}^{-3}$ com uma concentração máxima de $0,56 \mu\text{g m}^{-3}$. Todos os pontos em algum momento tiveram concentrações abaixo do LQ. O ponto P1 revelou a menor variabilidade e as concentrações médias. O ponto P2 apresentou uma maior variabilidade, em relação ao ponto 1. O ponto P3 demonstrou a maior variabilidade, com a média mais alta, o maior desvio padrão e a maior concentração máxima.

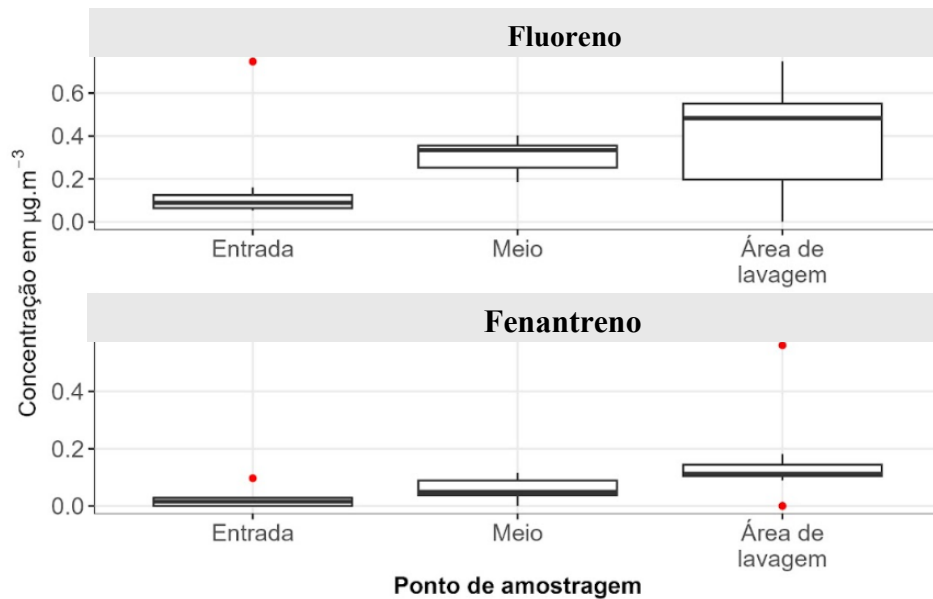
Assim como para BTEX, as avaliações destes HPAs demonstram que área de lavagem é onde há maior predominância na disseminação destes compostos. Essas condições também são vistas no Gráfico 7, que apresenta a distribuição das concentrações através do Boxplot.

Analisando boxplot descrito no Gráfico 6, quanto ao fluoreno, observa-se que no ponto de amostragem P1 (Entrada/recepção dos motores) a mediana é de $0,09 \mu\text{g m}^{-3}$, com uma distribuição dos dados que indica uma assimetria positiva, os dados têm uma distribuição central (50%) entre $0,06 \mu\text{g.m}^{-3}$ e $0,12 \mu\text{g.m}^{-3}$. Em P2 (Meio/usinagem), a mediana de $0,33 \mu\text{g m}^{-3}$ os dados têm uma distribuição central (50%) entre $0,25 \mu\text{g.m}^{-3}$ e $0,36 \mu\text{g.m}^{-3}$. Já no ponto P3 (Área de Lavagem), a mediana é de $0,48 \mu\text{g m}^{-3}$, os dados têm uma distribuição central (50%) entre $0,24 \mu\text{g.m}^{-3}$ e $0,59 \mu\text{g.m}^{-3}$. A distribuição assimétrica para P3, com valores máximos mais elevados, sugere a presença de concentrações extremas, indicando que a área de lavagem é a mais impactada pelo fluoreno. A mediana no Ponto 3 é 5,43 vezes maior do que no Ponto 1.

Para o fenantreno, no ponto de amostragem P1 (Entrada/recepção dos motores), a mediana é de $0,02 \mu\text{g m}^{-3}$, mostrando que as concentrações de fenantreno são baixas, com a maioria dos dados agrupados abaixo da mediana, o que indica uma distribuição assimétrica positiva, os dados têm uma distribuição central (50%) entre $0,02 \mu\text{g m}^{-3}$ e $0,02 \mu\text{g m}^{-3}$. Em P2 (Meio/usinagem), a mediana de $0,05 \mu\text{g m}^{-3}$ sugere uma maior concentração de fenantreno em comparação a P1, mas ainda com uma variabilidade moderada, os dados têm uma distribuição central (50%) entre $0,04 \mu\text{g m}^{-3}$ e $0,09 \mu\text{g m}^{-3}$. O ponto P3 (Área de Lavagem) apresenta uma mediana de $0,112 \mu\text{g m}^{-3}$, os dados têm uma distribuição central (50%) entre $0,11 \mu\text{g m}^{-3}$ e $0,14 \mu\text{g m}^{-3}$ que reflete as maiores concentrações de fenantreno entre os três pontos de amostragem. A distribuição assimétrica em P3, com valores extremos elevados, indica que a área de lavagem tem uma exposição significativamente maior ao fenantreno, sendo o ponto de

maior preocupação em termos de concentração deste agente químico. A mediana no Ponto 3 é 5,89 vezes maior do que no Ponto 1.

Gráfico 7 – Boxplot Fenantreno e Fluoreno por ponto de amostragem



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Tabela 22 apresenta a concentração média dos compostos em relação a todos os pontos de amostras, observa-se que o fluoreno tem maior predominância. Aspecto reforçado no Gráfico 7, que demonstra a distribuição deste em percentual.

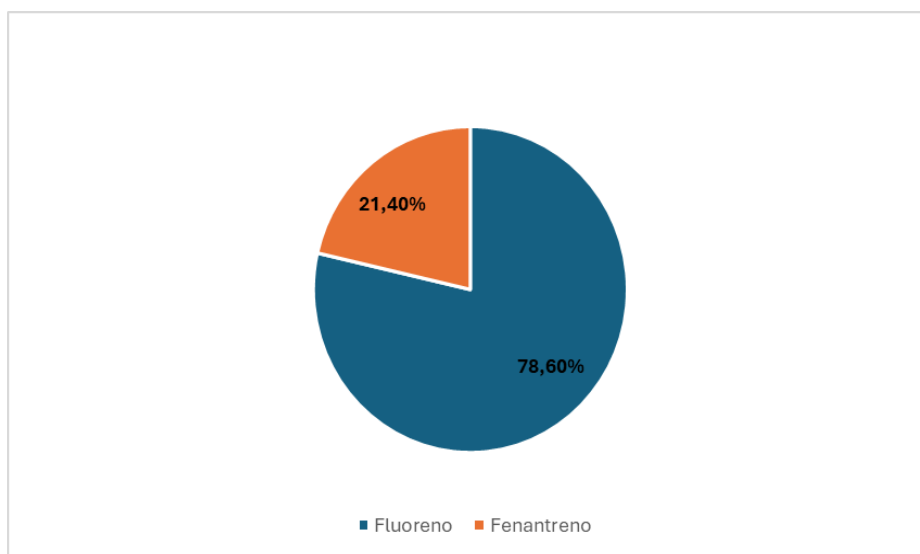
Tabela 22 - Concentração média de HPAs de todos os pontos de amostragem

Agente avaliado	Média em ($\mu\text{g m}^{-3}$)
Fluoreno	0,30
Fenantreno	0,08

Fonte: Elaborada pelo autor.

Conforme demonstrado no Gráfico 8, o fluoreno representa 78,65% da amostra e o fenantreno 21,4%.

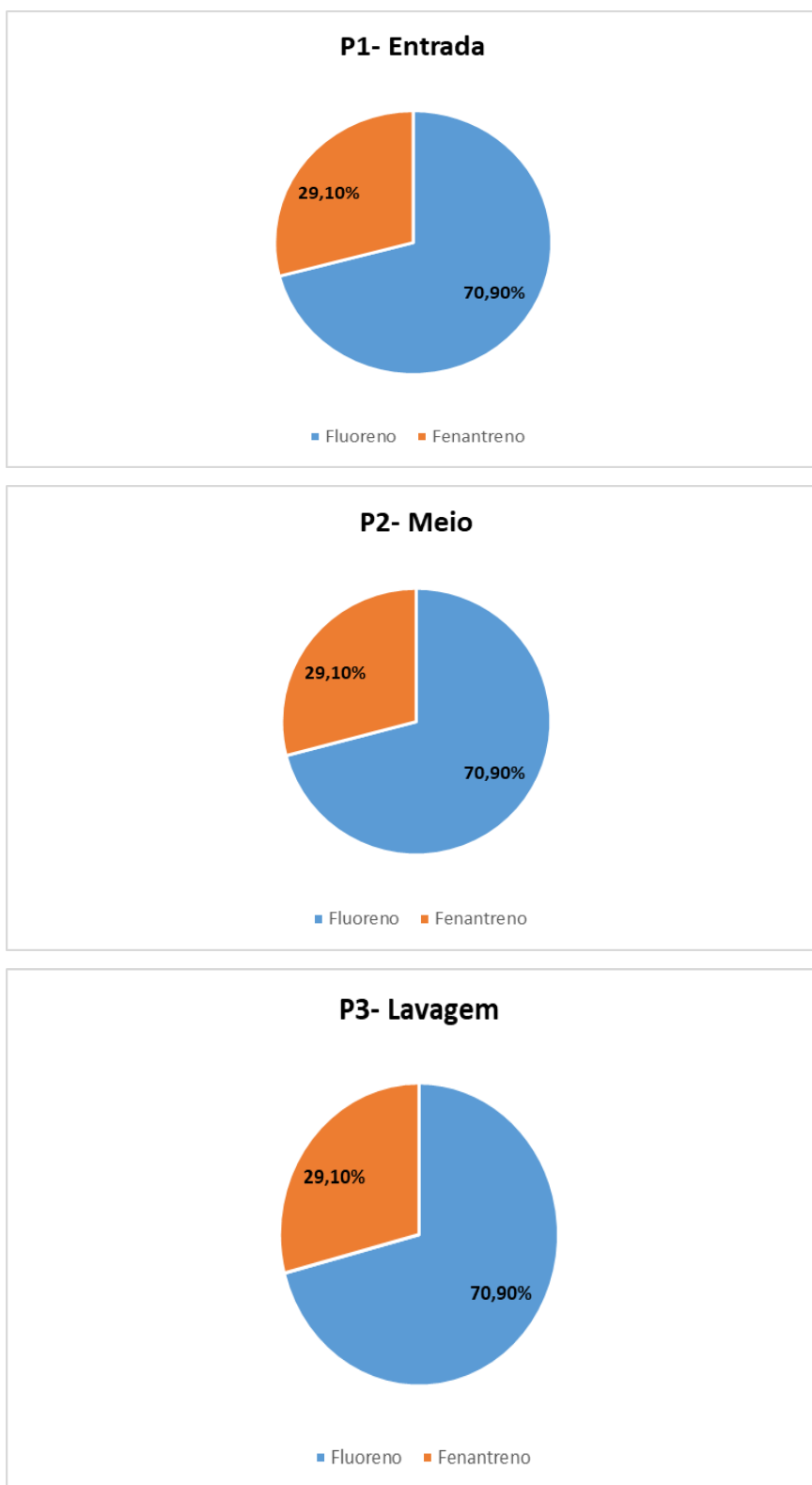
Gráfico 8 - Distribuição da mássica da média de fluoreno e fenantreno



Fonte: Elaborado pelo autor.

O Gráfico 9 apresenta a distribuição dos compostos por pontos de amostragem. Mais uma vez, evidencia-se a predominância do fluoreno em relação ao fenantreno. No ponto 1, essa relação é de 94,6% e 5,4%, respectivamente; no ponto 2, é de 83,6% e 16,4%; e no ponto 3, é de 70,9% e 29,1%. Observa-se que o ponto 1 possui a maior distribuição de fluoreno, seguido pelo ponto 2, e por fim o ponto 3. Gráfico 8 - Distribuição da mássica da média de fluoreno e fenantreno em P1, P2 e P3

Gráfico 9 - Distribuição da mássica da média de fluoreno e fenantreno em P1, P2 e P3



Fonte: Elaborado pelo autor.

Foi aplicada a correlação de spearman para avaliar a força das variáveis e sua relação entre si, sendo apresentadas no Gráfico 10.

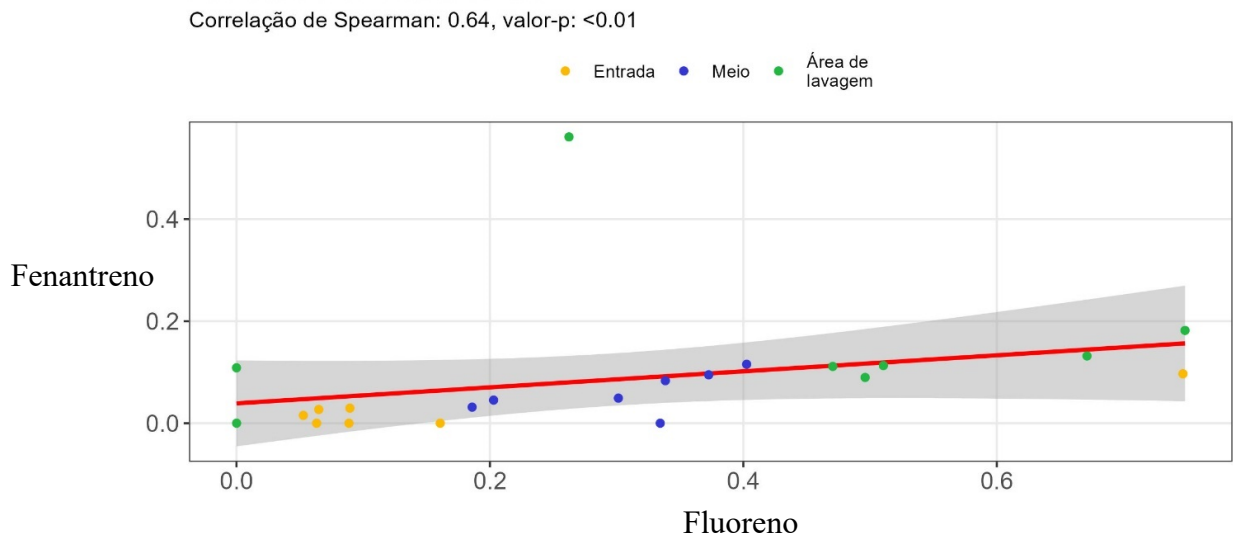
Conforme o Gráfico 10, o coeficiente de correlação de Spearman é 0,64, o que indica a existência de uma correlação positiva moderada entre as concentrações de fluoreno e fenantreno. Isso significa que, em geral, conforme as concentrações de fluoreno aumentam, as concentrações de fenantreno também tendem a aumentar, embora essa relação não seja perfeitamente linear

O Fenantreno e Fluoreno são considerados contaminantes típicos produzidos pela volatilização de produtos petrolíferos (WU *et al*, 2024). Assim como o BTEX tem como principais fontes as emissões dos combustíveis e óleos lubrificante, observa-se que para estes HPAs estas seriam as mesmas fontes. Isso é reafirmado por Yang *et al*. (2015) que ressaltam que a gasolina e o diesel geralmente contêm HPAs abundantes, em particular os homólogos alquilados de naftaleno, fenantreno e fluoreno. No mesmo estudo feito por Wu *et al*. (2024), este destaca que os óleos lubrificantes de motores diesel têm predominância da presença de fenantrenos.

Tanto o fluoreno e fenanentro têm três anéis benzênicos, HPAs com essas características têm como origem principais fontes petrogênicas (MAUAD, 2010), evidenciando mais uma vez que suas fontes estão relacionadas aos combustíveis e lubrificantes que evaporam no processo da retífica de motor. Um estudo realizado por Boström *et al*. (2002) comparou as emissões de veículos movidos a gasolina e diesel, os quais Fenantreno foi o principal HPA identificado.

Foi observado que, assim como o benzo[a]pireno vem sendo utilizado como marcador para HPAs, há estudos que propõem a utilização de outros biomarcadores. O fenantreno tem sido listado como um desses marcadores, especialmente por ser mais abundante. Esses estudos propõem inclusive a avaliação dos metabólitos da exposição a esses compostos como um novo marcador de exposição (BOSTRÖM *et al.*, 2010).

Gráfico 10 - Correlação de spearman dos compostos fluoreno e fenantreno



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.7 Comparações das concentrações médias de HPAs e limites de exposições ocupacionais

Não foram identificados limites de exposição ocupacionais para o fluoreno, para o Fenantreno foi identificado um limite de exposição ocupacional de $0,8 \text{ mg}^{-3}$, estabelecido pela Letônia (IFA, 2024), comparando com a concentração identificada, observa-se que está abaixo do Limite de exposição.

4.8 Comparação das concentrações médias de HPAs com estudos científicos

Durante a revisão da literatura, foram observados vários estudos relacionados à exposição a HPAs, especialmente em ambientes externos, com foco nas emissões provenientes de veículos. Houve dificuldade em localizar estudos que tenham realizado monitoramentos em ambientes internos, externos e/ou ocupacionais da exposição a esses compostos nas fases gasosas. Acredita-se que tal fator esteja relacionado ao fato de que os HPAs são adsorvidos nas partículas, daí a maior parte dos estudos estarem relacionados à identificação desses compostos nas partículas.

Kim *et al.* (2014) realizaram um estudo de monitoramento de HPAs na fase gasosa, inclusive em ambientes que podem ser enquadrados como ambientes internos ocupacionais.

No entanto, não foi identificado nenhum estudo desse tipo em oficinas mecânicas e de retífica de motores, os cenários monitorados por Kim *et al.* (2014), foram os seguintes: salas de PC (computadores), estacionamentos internos, estações de metrô subterrâneas, terminais de espera, supermercados, cinemas, instalações de cuidado infantil e instalações de cuidado de idosos. Serão utilizados os parâmetros do estacionamento interno e estações de metrô, essa escolha se deu por serem ambientes com menor circulação de ar.

Conforme tabela 23 a concentração de fenantreno e fluoreno ($0,0813 \mu\text{g m}^{-3}$ e $0,298 \mu\text{g m}^{-3}$) são significativamente maiores do que as concentrações encontradas em estacionamentos internos ($0,00697 \mu\text{g m}^{-3}$ e $0,00214 \mu\text{g m}^{-3}$) e estações de metrô subterrâneas ($0,01417 \mu\text{g m}^{-3}$ e $0,0053 \mu\text{g m}^{-3}$) no estudo de Kim *et al.* (2014).

No estudo atual, a concentração de Fenantreno é aproximadamente 11 vezes maior do que em estacionamentos internos e 5 vezes maior do que em estações de metrô subterrâneas, enquanto a concentração de fluoreno é cerca de 100 vezes maior do que em estacionamentos internos e 50 vezes maior do que em estações de metrô subterrâneas, conforme os dados de Kim *et al.* (2014).

Tabela 23- Comparativo entre as concentrações médias de HPAs ($\mu\text{g m}^{-3}$) e demais estudos

Agente	Estudo atual	Kim <i>et al.</i> (2014)	
		Estacionamentos internos	Estações de metrô subterrâneas
Fenantreno	0,08	0,00697	0,01417
Fluoreno	0,30	0,00214	0,0053

Fonte: Elaborada pelo autor.

4.9 Resultado avaliação de risco à saúde humana

Considerando que foram realizados monitoramentos em três locais diferentes, refletindo nas variações de concentrações, os cálculos de risco foram efetuados separadamente para cada um dos pontos de amostragem, conforme demonstrado nas Tabelas 24,25 e 26.

Os resultados descritos na Tabela 24 indicam que para o ponto de Amostragem P1, tanto a concentração média quanto a máxima se enquadram como risco potencial de câncer. Para o ponto de Amostragem P2, a concentração média é classificada como risco potencial de câncer, enquanto a concentração máxima é classificada como risco elevado de câncer. Para o ponto de Amostragem P3, tanto a concentração média quanto a máxima são classificadas como risco elevado de câncer. Comparando esses parâmetros com o padrão japonês 10^{-3} , o ponto 3 é único que estaria acima do limite previsto.

Os resultados indicam as probabilidades de desenvolvimento de câncer, que podem ser expressas da seguinte forma: No Ponto de Amostragem P1, a probabilidade adicional de desenvolver câncer varia de aproximadamente 2,92 para cada 100.000 pessoas, considerando a concentração média, a 8,42 para cada 100.000 pessoas, considerando a concentração máxima. No Ponto de Amostragem P2, essa probabilidade adicional varia de aproximadamente 1,04 para cada 10.000 pessoas, com base na concentração média, a 3,58 para cada 1.000 pessoas, com base na concentração máxima. Já no Ponto de Amostragem P3, a probabilidade adicional varia de aproximadamente 2,14 para cada 10.000 pessoas, considerando a concentração média, a 1,08 para cada 1.000 pessoas, considerando a concentração máxima.

Badjagbo *et al.* (2010) também realizaram o cálculo do risco excessivo de câncer (CR) para a exposição ao Benzeno; obtendo como resultado $1,3 \times 10^{-5}$. Ao comparar com este trabalho, pode-se obter as seguintes conclusões:

No Ponto de Amostragem P1, a concentração média ($2,92 \times 10^{-5}$) é aproximadamente 2,25 vezes maior que o resultado obtido por Badjagbo *et al.* (2010), sugerindo um risco potencial de câncer. A concentração máxima ($8,42 \times 10^{-5}$) é cerca de 6,48 vezes superior ao resultado do estudo mencionado. No Ponto de Amostragem P2, a concentração média ($1,04 \times 10^{-4}$) é aproximadamente 8 vezes maior que o valor reportado por Badjagbo *et al.* (2010), indicando um risco potencial de câncer, enquanto a concentração máxima ($3,58 \times 10^{-4}$) é cerca de 27,54 vezes superior. Já no Ponto de Amostragem P3, a concentração média ($2,14 \times 10^{-4}$) é aproximadamente 16,46 vezes maior que o resultado de Badjagbo *et al.* (2010), o que indica um risco elevado de câncer. A concentração máxima ($1,08 \times 10^{-3}$) neste ponto é cerca de 83,08 vezes superior ao valor encontrado no estudo de Badjagbo *et al.* (2010), também apontando para um risco elevado de câncer.

Martins *et al.* (2019) aplicaram o cálculo do risco excessivo de câncer (CR) para a exposição ao Benzeno em ambientes ocupacionais, sendo este uma oficina com os seguintes setores: pintura, carpintaria e área de aplicação de verniz. Os resultados obtidos em relação à

concentração média foram, respectivamente: $9,19 \times 10^{-7}$, $6,80 \times 10^{-7}$ e $5,7 \times 10^{-7}$. Os resultados relacionados à concentração máxima foram: $2,37 \times 10^{-6}$ (pintura), $1,52 \times 10^{-6}$ (carpintaria) e $1,09 \times 10^{-6}$ (verniz).

Ao comparar este estudo com os resultados de Martins *et al.* (2019), verifica-se as probabilidades de câncer estão em níveis superiores. No Ponto P1, comparado ao setor de Pintura, as concentrações médias e máximas são aproximadamente 31,79 e 35,52 vezes maiores, respectivamente. No Ponto P2, comparado ao setor de Carpintaria, as concentrações médias e máximas são aproximadamente 152,94 e 235,53 vezes maiores, respectivamente. No Ponto P3, comparado à aplicação de verniz, as concentrações médias e máximas são aproximadamente 375,44 e 990,83 vezes maiores, respectivamente.

Tabela 24 - Resultados do cálculo do risco excessivo de câncer (CR) para a exposição ao Benzeno

Ponto de amostragem	CR em relação a concentração média	CR em relação a concentração máxima	Comparação com os padrões da US.EPA	
			Concentração Média	Concentração máxima
P1	$2,92 \times 10^{-5}$	$8,42 \times 10^{-5}$	Potencial	Potencial
P2	$1,04 \times 10^{-4}$	$3,58 \times 10^{-4}$	Potencial	Elevado
P3	$2,14 \times 10^{-4}$	$1,08 \times 10^{-3}$	Elevado	Elevado

Fonte: Elaborada pelo autor.

A Tabela 25 vai apresentar o resultado dos quocientes de risco em relação aos BTEX e HPAs.

Tabela 25 - Resultado dos quocientes de perigo (HQ) de BTEX

Ponto de amostragem	HQ Concentração Média de Benzeno	HQ Concentração Máxima de Benzeno	HQ Concentração Média de etilbenzeno	HQ Concentração Máxima de etilbenzeno	HQ Concentração Média de tolueno	HQ Concentração Máxima de tolueno	HQ Concentração média de m + p xileno	HQ Concentração máxima de m + p xileno	HQ Concentração média de xileno	HQ Concentração máxima de xileno
P1	0,12	0,35	0,01	0,03	0,001	0,002	0,09	0,36	0,05	0,23
P2	0,44	1,52	0,02	0,04	0,01	0,02	0,25	0,63	0,15	0,39
P3	0,91	4,60	0,06	0,16	0,03	0,09	0,75	2,07	0,55	1,48

Um $HQ < 1$ significa que os níveis de exposição a um químico não devem levar a efeitos adversos à saúde. Por outro lado, um $HQ > 1$ significa que efeitos adversos à saúde são possíveis (KUMARI *et al.*, 2023; MARTINS *et al.*, 2019).

Fonte: Elaborada pelo autor.

Conforme observado na Tabela 25, é possível interpretar que, no Ponto de Amostragem P1, todos os quocientes de perigo (HQ) estão abaixo de 1, o que indica que não se espera que os níveis de exposição causem efeitos adversos à saúde. No Ponto de Amostragem P2, apenas o HQ da concentração máxima de benzeno está acima de 1, sugerindo um potencial para efeitos adversos à saúde. No Ponto de Amostragem P3, os HQs acima de 1 foram identificados na concentração máxima de benzeno nos pontos de amostragem P2 e P3, sendo que a média de benzeno no P3 está próxima de 1. Além disso, para o m + p xileno e o xileno, as concentrações máximas também ultrapassaram 1, indicando um risco significativo de efeitos adversos à saúde.

O cálculo do HQ está associado à existência de um valor de toxicidade, também conhecido como Concentração de Referência (RfC), que é uma projeção de exposição contínua por inalação que é improvável de causar efeitos negativos à saúde ao longo da vida de um indivíduo. Esta projeção abrange grupos vulneráveis, como crianças, asmáticos e idosos, e é obtida através do banco de dados da IRIS (US.EPA, 2024). Não foi identificado este valor para os HPAs estudados, especificamente fenantreno e fluoreno. Foi observado apenas um Rfc para fluoreno (4×10^{-2}), porém é específico para exposição através da ingestão. Considerando que este estudo tem como foco a exposição por via de inalação, não foi possível adotar os critérios de HQ e de HI.

Levando em conta que estamos observando uma multiexposição, ou seja, a exposição ao BTEX e HPAs ocorrendo de forma simultânea, é importante avaliar tal aspecto. Isso se dá através do Índice de Perigo (HI), apresentado na Tabela 26.

Tabela 26 - Resultado do índice de perigo (HI)	
HI - Considerando todos os HQS de BTEX.	1,15
HI - Considerando apenas os HQS do P3	2,29
HI - Considerando apenas os HQS do P2	0,87
HI - Considerando apenas os HQS do P1	0,72
Um HI < 1 significa que os níveis de exposição a um químico não devem levar a efeitos adversos à saúde. Por outro lado, um HI > 1 significa que efeitos adversos à saúde são possíveis. (Kumari <i>et al.</i> , 2023).	

Fonte: Elaborada pelo autor.

A Tabela 26 mostra que, considerando a multiexposição, ou seja, a concentração simultânea de BTEX temos uma exposição que pode causar efeitos adversos ao grupo exposto, com um HQ de 1,15. Analisando apenas o HI do ponto P3, verifica-se que este é de 2,29, evidenciando mais uma vez que esta é a área de maior risco dentro da retífica de motores.

5 CONCLUSÃO

Os resultados deste estudo evidenciam que a retífica de motores apresenta uma ampla disseminação de compostos orgânicos voláteis (BTEX) e HPAs, substâncias com sérios aspectos toxicológicos em relação à exposição à saúde humana.

As concentrações médias de benzeno, tolueno, etilbenzeno, m+p-xileno e o-xileno foram, respectivamente, de 64,41 $\mu\text{g m}^{-3}$, 270,32 $\mu\text{g m}^{-3}$, 118,34 $\mu\text{g m}^{-3}$, 157,46 $\mu\text{g m}^{-3}$ e 109,16 $\mu\text{g m}^{-3}$. Em relação aos pontos P1, P2 e P3, o ponto P3 foi o local que apresentou os maiores níveis médios e concentrações máximas desses compostos. As concentrações médias e máximas registradas para benzeno, tolueno, etilbenzeno, m+p-xileno e o-xileno no ponto P3 foram as seguintes: benzeno, com média de 119,20 $\mu\text{g m}^{-3}$ e máxima de 601,86 $\mu\text{g m}^{-3}$; tolueno, com média de 551,74 $\mu\text{g m}^{-3}$ e máxima de 2052,68 $\mu\text{g m}^{-3}$; etilbenzeno, com média de 251,30 $\mu\text{g m}^{-3}$ e máxima de 714,04 $\mu\text{g m}^{-3}$, m+p-xileno, com média de 324,21 $\mu\text{g m}^{-3}$ e máxima de 889,95 $\mu\text{g m}^{-3}$ e o-xileno, com média de 239,48 $\mu\text{g m}^{-3}$, e máxima de 641,66 $\mu\text{g m}^{-3}$.

O tolueno apresentou a maior distribuição de massa, com uma média de 37,56% nos três pontos amostrados. Em relação aos pontos P1, P2 e P3, essa distribuição se manteve, com o ponto P1 registrando a maior massa de tolueno, correspondente a 39,3%.

Em relação aos HPAs, apenas os compostos fluoreno e fenantreno foram detectados. As concentrações médias e máximas foram respectivamente de 0,30 $\mu\text{g m}^{-3}$ e 0,08 $\mu\text{g m}^{-3}$. O fluoreno apresentou a maior distribuição de massa, com uma média de 78,6% nos três pontos amostrados. Em relação aos pontos P1, P2 e P3, essa distribuição se manteve, com o ponto P1 registrando a maior massa de fluoreno, correspondente a 94,6%.

Apenas o benzeno apresentou concentrações que excederam o limite de exposição ocupacional estabelecido pela ACGIH (0,02 ppm). Isso foi observado no ponto 2 (0,021 ppm) e no ponto 3 (0,04 ppm). O ponto 3 registrou a maior concentração, estando 2 vezes acima do limite de exposição, enquanto no ponto 2, a concentração foi 1,05 vezes acima do limite. Cabe ressaltar a inexistência de limites seguros para compostos cancerígenos.

Quanto aos HPAs, não houve concentrações acima de limites de exposição ocupacional.

O benzeno é classificado como substância do Grupo 1 pela IARC, indicando sua comprovada carcinogenicidade em humanos. Nesse contexto, foi realizado o cálculo do risco excessivo de câncer (CR), tomando como referência as concentrações médias e máximas nos pontos P1, P2 e P3, obtendo-se os seguintes resultados, respectivamente: no ponto P1, o CR

em relação à concentração média foi de $2,92 \times 10^{-5}$ e em relação à concentração máxima, $8,42 \times 10^{-5}$; no ponto P2, o CR em relação à concentração média foi de $1,04 \times 10^{-4}$ e em relação à concentração máxima, $3,58 \times 10^{-4}$; no ponto P3, o CR em relação à concentração média foi de $2,14 \times 10^{-4}$ e em relação à concentração máxima, $1,08 \times 10^{-3}$. Em todos os pontos, o risco calculado está acima do nível aceitável definido pela US.EPA ($CR < 10^{-6}$). O ponto 3 apresentou a maior probabilidade de desenvolvimento de câncer, tanto na concentração média quanto na concentração máxima, sendo classificado como risco elevado

A análise dos quocientes de perigo (HQ) demonstrou que, a concentração máxima do composto o -xileno, especificamente no ponto 3 (lavagem), chegou a 1,48, e m+p-Xileno na concentração máxima, chegou a 2,07. Para benzeno a concentração média do ponto 3, chegou a 0,91, bem próximo de 1. Porém ao analisarmos a concentração máxima de benzeno, o HQ para ponto 2 e ponto 3 ultrapassaram 1, respectivamente 1,52 e 4,6. Todos os HQs superiores a 1 indicam a probabilidade de ocorrência de efeitos adversos à saúde; entretanto, trata-se de uma avaliação isolada de cada composto. No caso do benzeno, devido à sua classificação como carcinogênico, a determinação do CR assume maior relevância.

O índice de perigo (HI) indicou que, ao analisarmos a exposição conjunta aos BTEX, todos os pontos apresentaram um HI de 1,15. Entretanto, ao avaliar individualmente, o P3 foi o único ponto com HI superior a 1, atingindo 2,29. Isso evidencia que a exposição conjunta aos BTEX pode desencadear efeitos adversos à saúde na população exposta.

É importante lembrar que, além da carcinogenicidade associada ao benzeno, a exposição aos demais compostos desse grupo também apresenta impactos significativos no sistema nervoso central e efeitos ototóxicos crônicos, afetando os mesmos órgãos-alvo no organismo.

Não foi identificado nenhuma medida de controle relacionada a exposição aos BTEX e HPAs. Com base nessa concentração de benzeno deve ser adotada imediatamente a hierarquia de controle, ou seja, eliminar a exposição, substituir por métodos mais seguros, implementar métodos de proteção coletiva como, por exemplo, exaustão, e/ou promover uma ventilação que permita a realização de uma troca de ar mais eficientes, e por fim, implementar o uso de equipamentos de proteção de individual.

Desde 2007, a Previdência Social utiliza a metodologia denominada Nexo Técnico Epidemiológico Previdenciário (NTEP), que correlaciona a Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE) com a Classificação Internacional de Doenças (CID), ou seja, identifica quais doenças ocupacionais estão relacionadas a determinadas atividades. Ao analisar o CNAE da retífica de motores e cruzá-lo com o NTEP, não foram identificados

CIDs relacionados à exposição ao benzeno ou aos demais compostos. Dessa forma, este trabalho pode indicar que as atividades de retífica de motores precisam de uma avaliação mais ampla, com o objetivo de confirmar este CNAE como uma fonte epidemiológica significativa para a exposição ao benzeno.

Em relação ao HPA, os estudos demonstram que além do benzopireno outros marcadores devem ser adotados para avaliar a exposição a HPAs, e isso foi evidenciado através da verificação da concentração de fluoreno e fenantreno, em níveis acima dos estudos comparativos. As ausências de estudos de monitoramento de HPAs na fase gasosa demonstram a relevância deste monitoramento. Essas emissões estão relacionadas diretamente aos combustíveis e óleo lubrificantes existentes nas diversas etapas do processo da retífica de motor. A ausência de Concentração de Referência (RfC), para estes compostos impediu a realização dos cálculos de quocientes de risco. Apesar desta limitação não deve ser ignorado os impactos a saúde em decorrência da exposição a estes contaminantes.

Concentrações elevadas de BTEX e HPAs no ambiente interno da retífica e a proximidade desta com residências limítrofes indicam que a retífica pode ser uma possível fonte de contaminação para ambientes externos, podendo ocorrer o carreamento dessas plumas de contaminação interna para as áreas circunvizinhas. Não foi identificada na legislação estadual do Rio de Janeiro a inclusão da retífica de motores como uma atividade potencialmente poluidora. Em Minas Gerais, a Deliberação Normativa COPAM nº 74, de 9 de setembro de 2004, classifica a atividade de retífica como poluidora do ar, classificada como pequena. O presente trabalho demonstra que existem emissões internas consideráveis, corroborando essa classificação inicial de Minas Gerais.

Este estudo demonstrou que a exposição ao BTEX pode desencadear efeitos adversos à saúde na população exposta ocupacionalmente nesta retífica de motores, especialmente em relação ao benzeno, cuja concentração está acima do limite de exposição ocupacional. É importante destacar que, em níveis de concentração como os encontrados, há evidências toxicológicas de impactos na saúde. Considerando que se trata de efeitos crônicos, com um período de latência longo, os efeitos imediatos na saúde podem surgir apenas após anos de exposição.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como proposta para trabalhos futuros, é essencial entender a relação entre a emissão interna e externa para avaliar se este tipo de atividade está afetando o seu entorno. Outro aspecto é que o estudo se limitou às avaliações de HPAs e BTEX nas fases gasosas. É sabido que as substâncias voláteis têm afinidade com as partículas, e que nos processos da retífica há uma ampla disseminação de material particulado. Entender os compostos que o compõem se torna relevante. Tendo em vista a exposição ocupacional, é crucial entender como ela ocorre e sua relação com o organismo. Portanto, avaliar os indicadores biológicos torna-se essencial para compreender se a concentração elevada de benzeno está refletindo diretamente na saúde desses profissionais, permitindo verificar se existe alguma causalidade entre a concentração e os efeitos na saúde.

REFERÊNCIAS

ARCURI, ARLINE SYDNEIA ABEL; CARDOSO, LUIZA MARIA NUNES. **Acordo e legislação sobre o benzeno: 10 anos**. Coordenação: Arline Sydneia Abel Arcuri e Luiza Maria Nunes Cardoso. Representantes da Fundacentro na Comissão Nacional Permanente do Benzeno. São Paulo: FUNDACENTRO, 2005.

ADETUNDE, O. T.; MILLS, G. A.; OLAYINKA, K. O.; ALO, B. I. Assessment of occupational exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons via involuntary ingestion of soil from contaminated soils in Lagos, Nigeria. **Journal of Environmental Science and Health, Part A: Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering**, v. 49, n. 14, p. 1661-1671, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/10934529.2014.951223>. Acesso em 03/12/2023.

AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY (ATSDR). Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs): **What Health Effects Are Associated With PAH Exposure?** (2024). Disponível em: https://www.atsdr.cdc.gov/csem/polycyclic-aromatic-hydrocarbons/health_effects.html. Acesso em 28/01/2024.

AGÊNCIA PARA SUBSTÂNCIAS TÓXICAS E REGISTRO DE DOENÇAS (ATSDR). **Toxicological profile for benzene**. Atlanta: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, 2007. Disponível em: <https://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp3-c3.pdf>. Acesso em 07/01/2024.

ANENBERG, S. C.; WEST, J. J.; HOROWITZ, L. W.; TONG, D. Q. The Global Burden of Air Pollution on Mortality: Anenberg et al. **Respond. Environmental Health Perspectives**, v. 119, n. 4, p. 158–159, abr. 2011. doi: 10.1289/ehp.1003276R. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3080949/>. Acesso em 18/03/2024.

ARBEX, MARCOS ABDO; SANTOS, UBIRATAN DE PAULA; MARTINS, LOURDES CONCEIÇÃO; SALDIVA, PAULO HILÁRIO NASCIMENTO; PEREIRA, LUIZ ALBERTO AMADOR; BRAGA, ALFÉSIO LUIS FERREIRA. A poluição do ar e o sistema respiratório. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**, v. 38, n. 5, p. 643-655, out. 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1806-37132012000500015>. Acesso em: 07/06/2024.

ARFAEINIA, H.; KERMANI, M.; HASHEMI, S. E. **Concentrations and potential risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) from indoor dust of Bushehr, Iran**. Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran, 2017. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/265596105_Comparative_Investigation_of_Health_Quality_of_Air_in_Tehran_Isfahan_and_Shiraz_Metropolises_in_2011-2012. Acesso em: 07/06/2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE HIGIENISTAS OCUPACIONAIS - ABHO. **Tradução TLVs e BEIs: Threshold Limit Values and Biological Exposure Indices** — ACGIH. 2024

ATAOLLAHI ESHKOOR, S., JAHANSHIRI, F., ISMAIL, P., ABD. RAHMAN, S., MOIN, S., & ADON, M. Y. (2012). Association between telomere shortening and ageing during occupational exposure. **Journal of Medical Biochemistry**, 31(3), 211-216. DOI: 10.2478/v10011-012-0005-2. Disponível em : <https://scindeks-clanci.ceon.rs/data/pdf/1452-8258/2012/1452-82581203211S.pdf>

ATKINSON, R., & AREY, J. (2003). **ATMOSPHERIC DEGRADATION OF VOLATILE ORGANIC COMPOUNDS**. Califórnia. Disponível em http://www.cee.mtu.edu/~reh/papers/pubs/non_Honrath/atkinson03_cr02.

AYDIN, K.; SENCER, S.; DEMIR, T.; OGEL, K.; TUNACI, A.; MINARECI, O. Cranial MR findings in chronic toluene abuse by inhalation. **AJNR American Journal of Neuroradiology**, v. 23, p. 1173-1179, 2002 disponível m: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-0036678796&origin=inward&txGid=57e15b3abb1920b330588e3da9b740c2>

AZEVEDO, J. A. H.; ARAÚJO, R. DOS S.; SILVA, G. M. M. HIDROCARBONETOS POLICÍCLICOS AROMÁTICOS ATMOSFÉRICOS DE FONTES AUTOMOTIVAS: UMA BREVE REVISÃO. **HOLOS**, v. 1, p. 102-114, 17 mar. 2013. Disponível em: <https://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/1234/643>

BADJAGBO, KOFFI; LORANGER, SYLVAIN; MOORE, SERGE; TARDIF, ROBERT; SAUVÉ, Sébastien. BTEX Exposures among Automobile Mechanics and Painters and Their Associated Health Risks. Human and Ecological Risk Assessment: **An International Journal**, v. 16, n. 2, p. 301-316, 2010. DOI: 10.1080/10807031003670071.

BADJAGBO, KOFFI; LORANGER, SYLVAIN; MOORE, SERGE; TARDIF, ROBERT; SAUVÉ, SÉBASTIEN. BTEX Exposures among Automobile Mechanics and Painters and Their Associated Health Risks. Human and Ecological Risk Assessment, **Taylor & Francis Group, LLC**, v. 16, p. 301-316, 2010. DOI: 10.1080/10807031003670071. ISSN: 1080-7039 (print) / 1549-7860 (online).

BARBEAU, DAMIEN; LUTIER, SIMON; BONNETERRE, VINCENT; PERSOONS, RENAUD; MARQUES, MARIE; HERVE, CLAIRE; MAITRE, ANNE. Occupational exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons: relations between atmospheric mixtures, urinary metabolites and sampling times. **International Archives of Occupational and Environmental Health**, v. 88, p. 1119-1129, 2015. DOI: 10.1007/s00420-015-1042-1.

BENJAMIN A. RYBICKI, CHRISTINE NESLUND-DUDAS, NORA L. NOCK, LONNI R. SCHULTZ, LUDMILA EKLUND, JAMES ROSBOLT, CATHRYN H. BOCK, KRISTIN G. Monaghan, Prostate cancer risk from occupational exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons interacting with the GSTP1 Ile105Val polymorphism, **Cancer Detection and Prevention**, Volume 30, Issue 5, 2006, Pages 412-422, ISSN 0361-090X, <https://doi.org/10.1016/j.cdp.2006.09.004>

BORILLO, GUILHERME CARDOSO. **Avaliação do risco à saúde causado por BTEX em escolas localizadas na região metropolitana de Curitiba-PR. 2015**. Monografia (Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2015. Orientador: Prof. Rui Bocchino Macedo.

BOSTRÖM, CARL-ELIS; GERDE, PER; HANBERG, ANNIKA; JERNSTRÖM, BENGT; JOHANSSON, CHRISTER; KYRKLUND, TITUS; RANNUG, AGNETA; TÖRNQVIST, MARGARETA; VICTORIN, KATARINA; WESTERHOLM, ROGER. Cancer risk assessment, indicators, and guidelines for polycyclic aromatic hydrocarbons in the ambient air. **Environmental Health Perspectives**, v. 110, n. 3, p. 451-488, 2002. DOI: 10.1289/ehp.110-1241197. Disponível em: <https://doi.org/10.1289/ehp.110-1241197>. Acesso em: 4 ago. 2024.

BOWEN, S. E.; HANNIGAN, J. H.; IRTENKAUF, S. Maternal and fetal blood and organ toluene levels in rats following acute and repeated binge inhalation exposure. **Reproductive Toxicology**, v. 24, p. 343-352, 2007. Disponível em: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-35549009412&origin=inward&txGid=d771830f28ffa23c4a3fced872f09cf7>

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). **Resolução RE nº 09, de 16 de janeiro de 2003**. Dispõe sobre o Regulamento Técnico que visa a garantir a qualidade do ar de interiores em ambientes climatizados de uso público e coletivo. Disponível em: https://antigo.anvisa.gov.br/documents/10181/2718376/RE_09_2003_.pdf/8ccaafc91-1437-4695-

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 506, de 05 de julho de 2024. Estabelece padrões de qualidade do ar. **Diário Oficial da União**, Edição 130, Seção 1, p. 133, 09 jul. 2024. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima/Conselho Nacional do Meio Ambiente.

BRASIL. **Decreto nº 3.048, de 6 de maio de 1999**. Aprova o Regulamento da Previdência Social, e dá outras providências. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/D3048anexoii-iii-iv.htm.

BRASIL. **Decreto-Lei nº 5.452, de 1º de maio de 1943**. Aprova a Consolidação das Leis do Trabalho (CLT). Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/del5452.htm. Acesso em: 21 jul. 2024.

Brasil. Ministério da Saúde. (2023). Portaria GM/MS nº 1.999, de 27 de novembro de 2023. Diário Oficial da União. Disponível em: <https://www.in.gov.br/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-1.999-de-27-de-novembro-de-2023-526629116>

BRASIL. **Ministério do Trabalho e Emprego. Norma Regulamentadora nº 07**: Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/aceso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/normas-regulamentadora/normas-regulamentadoras-vigentes/nr-07-atualizada-2022.pdf>.

BRASIL. **Ministério do Trabalho e Emprego. Norma Regulamentadora nº 15: Atividades e Operações Insalubres**. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/aceso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/arquivos/normas-regulamentadoras/nr-15-atualizada-2022.pdf>. Acesso em: 24 jul. 2024

BRASIL. **Ministério do Trabalho e Emprego. Norma Regulamentadora nº 01: Disposições Gerais e Gerenciamento de Riscos Ocupacionais.** Atualizada em 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/aceso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/normas-regulamentadora/normas-regulamentadoras-vigentes/nr-01-atualizada-2024.pdf>

BRASIL. **Ministério do Trabalho e Emprego. Norma Regulamentadora NR-09: Avaliação e Controle das Exposições Ocupacionais a Agentes Físicos, Químicos e Biológicos.** Atualizada em 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/aceso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/arquivos/normas-regulamentadoras/nr-09-atualizada-2021-com-anexos-vibra-e-calor.pdf>.

BRASIL. Relação Anual de Informações Sociais (RAIS) 2022. **Ministério do Trabalho e Emprego.** Disponível em: https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/assuntos/estatisticas-trabalho/rais/rais-2022/apresentacao_rais-2022.pdf.

BROOK RD, RAJAGOPALAN S, POPE CA 3RD, BROOK JR, BHATNAGAR A, DIEZ-ROUX AV, HOLGUIN F, HONG Y, LUEPKER RV, MITTLEMAN MA, PETERS A, SISCOVICK D, SMITH SC JR, WHITSEL L, KAUFMAN JD; **American Heart Association Council on Epidemiology and Prevention, Council on the Kidney in Cardiovascular Disease, and Council on Nutrition, Physical Activity and Metabolism. Particulate matter air pollution and cardiovascular disease: An update to the scientific statement from the American Heart Association.** *Circulation*. 2010 Jun 1;121(21):2331-78. doi: 10.1161/CIR.0b013e3181dbee1. Epub 2010 May 10. PMID: 20458016.

BROWN, TERRY; DASSONVILLE, CLAIRE; DERBEZ, MICKAEL; RAMALHO, OLIVIER; KIRCHNER, Severine; CRUMP, Derrick; MANDIN, Corinne. Relationships between socioeconomic and lifestyle factors and indoor air quality in French dwellings. **Environmental Research**, v. 140, p. 385-396, 2015. ISSN 0013-9351. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2015.04.012>. Acesso em: 17 ago. 2024.

BRUCKER, N., NASCIMENTO, S. N., BERNARDINI, L., CHARÃO, M. F., & GARCIA, S. C. (2020). Biomarkers of exposure, effect, and susceptibility in occupational exposure to traffic-related air pollution: A review. **Journal of Applied Toxicology**. <https://doi.org/10.1002/jat.3940>

CAFER, CLÉLIA REGINA. **Exposição ao BTEX e riscos à saúde em postos de combustível: revisão integrativa.** 2023. Tese (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Biocombustíveis) — Programa de Pós-Graduação em Biocombustíveis, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2023.

CARDOSO, SIMONE DE SOUZA. **Modelos de efeitos mistos para a previsão da poluição do ar: Avaliação global da mortalidade atribuível á poluição do ar nas regiões metropolitanas do Brasil . 2024.** Tese (Mestrado em [Área de Concentração]) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2024. Disponível em: <https://www.btd.uerj.br:8443/bitstream/1/4473/1/Tese%20Simone%20de%20Souza%20Cardoso%20completa.pdf>.

CARVALHO, FÁBIO ISRAEL M. Estudo da qualidade da gasolina tipo A e sua composição química empregando análise de componentes principais. **Quím. Nova**, v. 37, n. 1, p. 7, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422014000100007>.

CARVALHO, JOSIE BATISTA BASTOS. **Avaliação dos poluentes regulamentados pelo CONAMA 03/1990 e das concentrações dos compostos orgânicos voláteis no entorno dos locais dos jogos olímpicos de 2016**. 177f. Tese de Mestrado - Universidade Estadual do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

CASTRO, Bárbara Prestes de. **Determinação de compostos monoaromáticos voláteis provenientes de emissões de veículos leves, em estacionamentos subterrâneos**. 2011. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Centro de Tecnologia e Ciências, Faculdade de Engenharia, Rio de Janeiro, 2011.

CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL (Brasil) (CETEM). Avaliação de risco à saúde humana: conceitos e metodologia. Colaboradores: CASTILHOS, Zuleica Carmen; CASTRO, Aline Machado de. Rio de Janeiro: **Centro de Tecnologia Mineral**, 2005. ISBN 8572272186

CESAR, A. C. G.; NASCIMENTO, L. F. C.; CARVALHO JR, J. A. D. Associação entre exposição ao material particulado e internações por doenças respiratórias em crianças. **Revista de Saúde Pública**, v. 47, n. 6, p. 1209-1212, dez. 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rsp/a/hJc4Htx57sLq74PTqTJbpVf/?format=pdf>

CHATANI, S.; MATSUNAGA, S. N.; NAKATSUKA, S. Estimate of biogenic VOC emissions in Japan and their effects on photochemical formation of ambient ozone and secondary organic aerosol. **Atmospheric Environment**, v. 120, p. 38–50, 1 nov. 2015. Disponível em: <https://www-sciencedirect-com.ez83.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S1352231015303319?via=ihu>

CHEN, J.-J., WANG, T. B., CHANG, L.-T., CHUANG, K.-J., CHUANG, H.-C., & CHANG, T.-Y. (2024). Exposure and health risk assessment of volatile organic compounds among drivers and passengers in long-distance buses. **Environmental Research**, 252(Part 3), 118959. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.118959>

CHOI, H.; SPENGLER, J. Source attribution of personal exposure to airborne polycyclic aromatic hydrocarbon mixture using concurrent personal, indoor, and outdoor measurements. **Environment International**, v. 63, p. 173–181, 1 fev. 2014.

CONAREM. Tem Motor, **Tem Retífica**. Disponível em: <https://conarembrazil.com.br/temmotortemretifica/>. Acesso em: 27 jul. 2024.

CORNETTA, TOMMASO; PADUA, LUCA; TESTA, ANTONELLA; IEVOLI, ELENA; FESTA, FABIOLA; TRANFO, GIOVANNA; BACCELLIERE, LUIGI; COZZI, RENATA. **MOLECULAR biomonitoring of a population of nurses handling antineoplastic drugs. Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis**, v. 638, n. 1-2, p. 75-82, 1 fev. 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.mrfmmm.2007.10.011>. Acesso em: 21 ago. 2024.

COSTA, ALINE DE OLIVEIRA; ALONZO, HERLING GREGORIO AGUILAR; GERMANO, LUCAS CORAÇA; BUENO, PRISCILA CAMPOS. **Toxicologia Clínica e Ambiental**: Exposição a Agrotóxicos, Universidade Federal do Rio de Janeiro, p.11-40 , 2019

CRUZ, LÍCIA PASSOS DOS SANTOS; CAMPOS, Vânia Palmeira. Amostragem passiva de poluentes atmosféricos. **Aplicação ao SO₂**. *Química Nova*, v. 25, n. 3, p. 406-411, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.21577/0100-4042.20020160>.

DAI, Haixia; JING, Shengao; WANG, Hongli; MA, Yingge; LI, Li; SONG, Weimin; KAN, Haidong. VOC characteristics and inhalation health risks in newly renovated residences in Shanghai, China. *Science of the Total Environment*, v. 580, p. 541-548, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.10.071>. Acesso em: 21 ago. 2024.

DAPPER, S. N.; SPOHR, C.; ZANINI, R. R. Poluição do ar como fator de risco para a saúde: uma revisão sistemática no estado de São Paulo. **Estudos Avançados**, v. 30, p. 83–97, abr. 2016.

DAVIDSON, CAMERON J.; HANNIGAN, JOHN H.; BOWEN, SCOTT E. EFFECTS OF INHALED combined Benzene, Toluene, Ethylbenzene, and Xylenes (BTEX): Toward an environmental exposure model. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, v. 81, p. 103518, 2021. ISSN 1382-6689. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.etap.2020.103518>. Acesso em: 17 ago. 2024

DESCHAMPS F, BAROUH M, DESLEE G, PREVOST A, MUNCK JN. Estimates of work-related cancers in workers exposed to carcinogens. *Occup Med (Lond)*. **2006 May**;56(3):204-9. doi: 10.1093/occmed/kqj038. Epub 2006 Mar 3. PMID: 16517555.

DUTRA, J. M. et al. Análise de Deslocamento dos Poluentes de Emissões na Cidade de Manaus, Brasil (Analysis of the Displacement of Emissions Pollutants in the Manaus city, Brazil). *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 12, n. 1, p. 039-056, 26 maio 2019. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/rbgfe/article/view/234748/pdf>

EATON, D. L.; GILBERT, S. G. Princípios de Toxicologia. In: KLAASSEN, C. D.; WATIKINS III, J. B. **Fundamentos de Toxicologia de Casarett e Doull**. 2 ed. Porto Alegre: AMGH, 2012. p.5-19.

Employment - Hours worked - OECD Data. Disponível em: <<https://data.oecd.org/emp/hours-worked.htm>>. Acesso em: 18 maio. 2023.

ENGEL-COX, J., THI KIM OANH, N., VAN DONKELAAR, A., MARTIN, R. V., & ZELL, E. (2013). **Toward the next generation of air quality monitoring: Particulate Matter**. *Atmospheric Environment*, 80, 584-590.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). **NAAQS Table**. Disponível em: <https://www.epa.gov/criteria-air-pollutants/naaqs-table>.

US.EPA. **Basic Information about Integrated Risk Information System (IRIS),2024.** Disponível em: <https://www.epa.gov/iris/basic-information-about-integrated-risk-information-system>.

ESCUCIATTO, E.; DZIEDZIC, M.; VASCONCELOS, E. C. The influence of renewal's vehicle fleet on air quality in Curitiba. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais (RBCIAMB)**, n. 42, p. 2–11, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.5327/Z2176-947820160198>. Acesso em: 27 jul. 2024.

Engineering (IJEHE), v. 4, n. May, p. 1–7, 1 maio 2015. disponível em: https://ijehe.mui.ac.ir/article_27048_0831439417f0a928dd64b76657934eae.pdf

ESMAELNEJAD, Farhad; HAJIZADEH, Yaghoub; POURZAMANI, Hamidreza; AMIN, Mohamad Mehdi. Monitoring of benzene, toluene, ethyl benzene, and xylene isomers emission from Shahreza gas stations in 2013. **International Journal of Environmental Health Engineering**, v. 4, p. 17, 2015.

EUROSTAT. **Production of chemicals hazardous to health, EU, 2004–2022** (million tonnes.). Disponível em: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/env_chmhaz/settings_1/table?lang=em. Acesso em: 27 jul. 2024.

Exposure Factors Handbook Chapter 6 | US.EPA. Disponível em: <https://www.epa.gov/expobox/exposure-factors-handbook-chapter-6>. Acesso em: 22 jul. 2024.

FANDI, N.F.M., JALALUDIN, J., LATIF, M.T., HAMID, H.H.A., E AWANG, M.F. (2020). BTEX Exposure Assessment and Inhalation Health Risks to Traffic Policemen in the Klang Valley Region, Malaysia." **Aerosol Air Quality Research**, 20, pp. 1922–1937. <https://doi.org/10.4209/aaqr.2019.11.0574>

FELIZZOLA, JULIANA FEITOSA; COSTA, CRISTIANE FORMIGOSA GADELHA DA; VASCONCELOS, STEEL SILVA. Passo a Passo para o Uso do Cromatógrafo Gasoso Modelo GC-CP3800 Varian para Análises de Gases de Efeito Estufa (GEEs). **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Embrapa Amazônia Oriental, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**, 2014

Fichas SIT/MEI. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/assuntos/inspecao-do-trabalho/seguranca-e-saude-no-trabalho/fichasMEI>. Acesso em: 21 jul. 2024.

FIGUEIREDO, VICTOR OLIVA. **Avaliação da exposição ao benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos (BTEX) em trabalhadores expostos ocupacionalmente, no município do Rio de Janeiro. 2024.** Dissertação (Mestrado em Ciências) — Programa de Pós-Graduação em Saúde Pública e Meio Ambiente, área de concentração "Toxicologia Ambiental", Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca.2018

FRANCHI, MAURÍCIO RODRIGUES; QUADROS, BRUNA CAROLINA DE; AMARAL, FERNANDO GONÇALVES. Matriz de nível de risco ocupacional: proposta de um modelo segundo os requisitos normativos da Norma Regulamentadora nº 01. **Revista da Escola Nacional da Inspeção do Trabalho**, v. 6, 22 dez. 2022.

FRIAS JÚNIOR, CARLOS ALBERTO DA SILVA. **A SAÚDE DO TRABALHADOR NO MARANHÃO: UMA VISÃO ATUAL E PROPOSTA DE ATUAÇÃO**. 1999. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) – Escola Nacional de Saúde Pública, Fundação Instituto Oswaldo Cruz

FRIAS,.; SILVA, C. A. DA. A saúde do trabalhador no Maranhão: **uma visão atual e proposta de atuação**. 1999. disponível em: <https://www.arca.fiocruz.br/handle/icict/5279>

FUEL EUROPE. Low-Carbon Pathways: Vision 2050 - **A Pathway for the Evolution of the Refining Industry and Liquid Fuels**, 2024 Disponível em: https://www.fuelseurope.eu/uploads/files/modules/documents/file/1688473038_669YHw9M ApRAZOvNo7atC42hk09oIXcvzESi6pIP.pdf.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Guia técnico ambiental da indústria de reparação automotiva**. Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente, Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais, 2016. Disponível em: <https://pnla.mma.gov.br/publicacoes-diversas?download=39:cartilha-de-industria-e-reparacao-automotiva&start=40>

GESTIS Substance Database. **sistema de informação sobre substâncias perigosas do Seguro Social de Acidentes de Trabalho da Alemanha**, 2024 Disponível em: <https://www.dguv.de/ifa/gestis-database>.

GODISH, T. (2004) **Air quality 4. ed.** Boca Raton, FL: CRC Press. 480 p.

GOLDSTEIN, ALLEN H.; NAZAROFF, GUILHERME W.; WESCHLER, CHARLES J.; WILLIAMS, Jonatas. Como os ambientes internos afetam a exposição à poluição do ar? **Environmental Science & Technology**, v. 55, n. 1, p. 100–108, 7 dez. 2020. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.est.0c05727>.

HABERMANN, M. **Métodos de avaliação da exposição ambiental aos poluentes atmosféricos gerados por tráfego veicular**. Mestrado em Medicina Preventiva—São Paulo: Universidade de São Paulo, 2 ago. 2012.

HADLEY, M; BAUMGARTNER, J; VEDANTHAN, R. Developing a clinical approach to air pollution and cardiovascular health. **Circulation NAHA**. 2018, 137:725-42.

HALIOS, C. H., LANDEG-COX, C., LOWTHER, S. D., MIDDLETON, A., MARCZYLO, T., & DIMITROULOPOULOU, S. (2022). Chemicals in European residences - Part I: A review of emissions, concentrations and health effects of volatile organic compounds (VOCs). **Science of the Total Environment**, 839, Article 156201. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156201>

HÄMÄLÄINEN P, TAKALA J, KIAT TB. Global estimates of occupational accidents and Work-related illnesses 2017. Singapore: **Workplace Safety and Health Institute**; 2017.

HAYES, A. WALLACE (ED.). Principles and Methods of Toxicology. 5. ed. revisada. **Boca Raton**: CRC Press, 2007. 2296 p. ISBN 084933778X.

HUANG, X.; ZHANG, Y.; YANG, W.; HUANG, Z.; WANG, Y.; ZHANG, Z.; HE, Q.; LÜ, S.; HUANG, Z.; BI, X.; WANG, X. Effect of traffic restriction on reducing ambient volatile organic compounds (VOCs): observation-based evaluation during a traffic restriction drill in Guangzhou, China. **Environmental Science & Technology**, 2017, vol. 51, no. 21, pp. 12705-127. disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231017302790>

HUGHES, Frederic Mendes; NUNES, Maiara de Souza; GAMA JÚNIOR, Aguinaldo; KOBLITZ, Maria Gabriela Bello. Fitorremediação de poluentes xenobióticos. **Sitientibus Série Ciências Biológicas**, v. 8, n. 2, p. 247-256, set. 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.13102/scb8096>. Acesso em: 21 ago. 2024

HUNTER, Philip. The health toll of air pollution: despite global efforts to clean up the air, outdoor and indoor air pollution still have a drastic negative effect on public health. **Science & Society**. Disponível em: <https://www.embopress.org/doi/full/10.15252/embr.202051183> Acesso em: 17 ago. 2024.

Hussain, M. S., Gupta, G., Mishra, R., Patel, N., Gupta, S., Alzarea, S. I., Kazmi, I., Kumbhar, P., Disouza, J., Dureja, H., Kukreti, N., Singh, S. K., & Dua, K. (2024). Unlocking the secrets: Volatile Organic Compounds (VOCs) and their devastating effects on lung cancer. **Pathology - Research and Practice**, 255, 155157. <https://doi.org/10.1016/j.prp.2024.155157>

IARC Monographs on the Identification of Carcinogenic Hazards to Humans. 2024. Disponível em: <https://monographs.iarc.who.int/list-of-classifications>.

IBAMA. **Ideias de Negócios Sustentáveis: Retífica Ecológica, 2012**. Disponível em: <https://licenciamento.ibama.gov.br/Hidretricas/Teles%20Pires/RELAT%C3%93RIOS%20EMESTRAIS/Relatorio%20Consolidado/PROG%20COMPENSAT%C3%93RIO/PARTE%2002%20SE/P.38/ANEXOS/CD%20-%20IDEIAS%20DE%20NEG%C3%93CIOS/Ideias%20de%20Neg%C3%B3cios%20Sustent%C3%A1veis/RET%C3%8DFICA%20ECOL%C3%93GICA.pdf>

IBGE | **Comitê de Estatísticas Sociais | base de dados | metadados | MTE | relação anual de informações sociais - RAIS**. Disponível em: <<https://ces.ibge.gov.br/base-dados/metadados/mte/relacao-anual-de-informacoes-sociais-rais.html>>. Acesso em: 10 jul. 2024.

IBGE. PNAD Contínua Trimestral: em 2023, taxa anual de desocupação cai 26 em UFs. **Agência de Notícias IBGE**. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/39206-pnad-continua-trimestral-em-2023-taxa-anual-de-desocupacao-cai-em-26-ufs>.

IM, Ho-Hyun; LEE, Geon-Woo; YANG, Ji-Yeon; JEON, Jun-Min; LEE, Woo-Seok; LIM, Jung-Yun; LEE, Han-Seul; GWAK, Yoon-Kyung; SHIN, Dong-Chun; LIM, Young-Wook. Indoor Exposure and Health Risk of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) via Public Facilities PM2.5, Korea (II). **Asian Journal of Atmospheric Environment**, v. 8, n. 1, p. 35-47, mar. 2014. doi: <http://dx.doi.org/10.5572/ajae.2014.8.1.035>.

INCA, 2021cartilha_poluicao_do_ar_web.pdf. [s.d.]. Disponível em: <https://www.inca.gov.br/sites/ufu.sti.inca.local/files/media/document/cartilha_poluicao_do_ar_web.pdf>. Acesso em: 13 jul. 2024

INDUMATHY, V.; GANDHIMATHI, M.; KISHORE, J. Assessment of Pulmonary Function Test among Employees of Petrol Filling Stations. **Indian Journal of Public Health Research and Development**, v. 10, n. 1, 2023. Disponível em: <https://medicopublication.com/index.php/ijphrd/article/view/18802/16310>

INSTITUT FÜR ARBEITSSCHUTZ DER DEUTSCHEN GESETZLICHEN UNFALLVERSICHERUNG (IFA), 2024. **Occupational Exposure Limits - Benzene**. Disponível em: <https://ilv.ifa.dguv.de/limitvalues/4437>.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua Trimestral, 2024** Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/trabalho/9173-pesquisa-nacional-por-amostra-de-domicilios-continua-trimestral.html?edicao=20653>.

INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER – IARC. Agents classified by the IARC monographs. Lyon: IARC, 2013. v. 1. Disponível em: <https://monographs.iarc.who.int/agents-classified-by-the-iarc/>

INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER. **Arsenic, metals, fibres and dusts: review of human carcinogens**. Lyon, France: IARC, 2012. (IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risks, v. 100C).

JANG, Tae-Won; KIM, Yangho; WON, Jong-Uk; LEE, Jong-Seong; SONG, Jaechul. The standards for recognition of occupational cancers related with polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in Korea. **Annals of Occupational and Environmental Medicine**, v. 30, n. 13, 2018.

JARDIM, ANDRÉIA NUNES OLIVEIRA; CALDAS, ELOISA DUTRA. Exposição humana a substâncias químicas potencialmente tóxicas na dieta e os riscos para a saúde. **Química Nova**, v. 32, n. 7, p. 1898-1909, 2009.

JIA, C., BATTERMAN, S., GODWIN, C., CHARLES, S., & CHIN, J. Y. (2010). Sources and migration of volatile organic compounds in mixed-use buildings. **Indoor Air**, 20, 357-369. Disponível em: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-77956529783&origin=inward&txGid=f776ce515ed26a476a10dbb95127d70a>

JO, MI-SEON; RENE, ELDON R.; KIM, SOO-HONG; PARK, HUNG-SUCK. An analysis of synergistic and antagonistic behavior during BTEX removal in batch system using response surface methodology. **Journal of Hazardous Materials**, v. 152, n. 3, p. 1276-1284, 2008. ISSN 0304-3894. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.08.002>. Acesso em: 27 jul. 2024.

JOSHI, S. M. The sick building syndrome. **Indian Journal of Occupational and Environmental Medicine**, v. 12, n. 2, p. 61, ago. 2008. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2796751/>

JURADO, S. R.; BANKOFF, A. D. P.; SANCHEZ, A. Indoor Air Quality in Brazilian Universities. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 11, n. 7, p. 7081–7093, jul. 2014. disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4113862/>

KHALILI, M., NASRABADI, T. Assessment of occupational health risk due to inhalation of chemical compounds in an aircraft maintenance, repair, and overhaul company. **Environ Sci Pollut Res** 30, 57558–57570 (2023). <https://doi.org/10.1007/s11356-023-26572-7>

KIM, HO-HYUN; LEE, GEON-WOO; YANG, JI-YEON; JEON, JUN-MIN; LEE, WOO-SEOK; LIM, JUNG-YUN; LEE, HAN-SEUL; GWAK, YOON-KYUNG; SHIN, DONG-CHUN; LIM, YOUNG-WOOK. Indoor exposure and health risk of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) via public facilities PM2.5, Korea (II). **Asian Journal of Atmospheric Environment**, v. 8, n. 1, p. 35-47, março 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.5572/ajae.2014.8.1.035>.

KLEPEIS, NEIL E.; NELSON, WILLIAM C.; OTT, WAYNE R.; ROBINSON, JOHN P.; TSANG, ANDY M.; SWITZER, PAUL; BEHAR, JOSEPH V.; HERN, STEPHEN C.; ENGELMANN, WILLIAM H. The National Human Activity Pattern Survey (NHAPS): a resource for assessing exposure to environmental pollutants. **Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology**, v. 11, n. 3, p. 231-252, 2001. CODEN: JEAE9; ISSN: 1053-4245. Nature America Inc. disponível : <https://pubs-acsc-org.ez29.periodicos.capes.gov.br/doi/10.1021/acs.est.0c05727>

KO, Y. C.; CHENG, L. S. C.; LEE, C. H.; HUANG, J. J.; HUANG, M. S.; KAO, E. L. Chinese food cooking and lung cancer in women nonsmokers. **American Journal of Epidemiology**, v. 151, p. 140-147, 2000.

KUMARI, P.; GARG, G.; SONI, D.; AGGARWAL, S. G. Measurement of benzene and other volatile organic compounds: implications for its inhalation health risk associated with the workers at a fuel station in Delhi. **Asian Journal of Atmospheric Environment**, v. 17, p. 7, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s44273-023-00007-8>.

KURANCHIE, F. A., ANGNUNAVURI, P. N., ATTIOGBE, F., NERQUAYE-TETTEH, E. N., & YUN, G. Y. (2019). Occupational exposure of benzene, toluene, ethylbenzene and xylene (BTEX) to pump attendants in Ghana: Implications for policy guidance. **Cogent Environmental Science**, 5(1). <https://doi.org/10.1080/23311843.2019.1603418>

LI, A. J., PAL, V. K., & KANNAN, K. (2021). A review of environmental occurrence, toxicity, biotransformation and biomonitoring of volatile organic compounds. **Environmental Chemistry and Ecotoxicology**, 3, 91-116. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2021.01.001>.

LIANG, WEIHUI; HU, YIBING; REN, LULU; XU, YOULING. Volatile organic compounds and odor emissions from typical building materials and air sample storage time analysis. **Building and Environment**, v. 255, 2024, p. 111433. ISSN 0360-1323. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2024.111433>. Acesso em: 17 ago. 2024.

LIMA, DANIELA LINHARES; SANTOS, THAMY NETTO RODRIGUES DOS. **Aplicação de um modelo termodinâmico simplificado de um motor de combustão interna**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Mecânica) – Universidade Federal Fluminense, 2018
LITOVITZ, T. et al. Occupational and environmental exposures reported to poison centers. *American Journal of Public Health*, v. 83, n. 5, p. 739–743, maio 1993. disponível em: <https://ajph.aphapublications.org/doi/epdf/10.2105/AJPH.83.5.739>

Liu, X. (2022). Understanding semi-volatile organic compounds in indoor dust. *Indoor and Built Environment*, 31(2). **U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, Center for Environmental Measurement and Modeling**, 109 T. W. Alexander Dr. Durham, North Carolina, 27711, USA. Disponível em: <https://journals-sagepub-com.ez29.periodicos.capes.gov.br/doi/10.1177/1420326X211070859>

MACHADO, R. A. **Avaliação de Compostos Orgânicos Voláteis em Ambientes Interiores Climatizados**, Tese de Mestrado apresentada ao Departamento de Saúde Ambiental da Faculdade de Saúde Pública da USP, São Paulo, 2003.

MAHAPATRA, AMITA KUMARI; PRADHAN, SMITA RANI; PATNAIK, JYOTSNA. Assessment of Haematological Parameters among Petrol Pump Workers in Bhubaneswar. **International Journal of Medical Research Professionals**, [S.l.], v. 2, n. 5, p. 10-23, 2016. ISSN 2454-6364. DOI: 10.21276/ijmrp.2016.2.5.023. Disponível em

MARTINOVIC, LETÍCIA DO VALLE PIRES. **Avaliação Econômica da Frota Brasileira de Caminhões de Transportadores Remunerados. 2015**. Projeto de Graduação (Engenharia de Produção) – Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia de Produção, Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

MARTINS, EDUARDO MONTEIRO; BORBA, PRISCILA FALCÃO DE SÁ; SANTOS, NEEMIAS ESPINDOLA DOS; REIS, PAULA THAISE BERMUDEZ DOS; SILVEIRA, RENATA SIMÕES; FELZENSZWALB, ISRAEL; FERRAZ, ELISA RAQUEL ANASTÁCIO; FERNANDES, ANDREIA DA SILVA; MUNIZ, RONALD DA SILVA; MATOS, IZABELA BATISTA DE SOUZA; CORREA, SÉRGIO MACHADO. BTEX in an occupational environment. **International Journal of Environmental Impacts**, v. 2, n. 2, p. 174-191, 2019.

MARTINS, S. L., & OLIVEIRA, R. P. (2023). Precarização do trabalho e saúde ocupacional no Brasil: uma análise crítica. **Revista Brasileira de Ciências Sociais**. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcsoc/a/wFXkGkStrfp8yByGCh3C4rp/?lang=pt>

MASIH, AMIT; LALL, ANURAG S.; TANEJA, AJAY; SINGHVI, RAJ. Exposure profiles, seasonal variation and health risk assessment of BTEX in indoor air of homes at different microenvironments of a terai province of northern India. **Chemosphere**. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.02.105>. Acesso em: 17 ago. 2024.

MASIH, J.; MASIH, A.; KULSHRESTHA, A.; SINGHVI, R.; TANEJA, A. Atmospheric characteristics of polycyclic aromatic hydrocarbons in the north central part of India. **Journal of Hazardous Materials**, v. 177, p. 190–198, 2010.

MAUAD, CRISTIANE RIBEIRO. **Variações geocronológicas de carbono negro e HPAs na Baía de Guanabara como indicadores de fontes de combustão.** 2010. Dissertação (Mestrado em Química) – Programa de Pós-graduação em Química, Departamento de Química, PUC-Rio, Rio de Janeiro, 2010

MAZZEO, D. E. C. **Avaliação dos efeitos citotóxicos, genotóxicos e mutagênicos do BTEX, antes e após o processo de biorremediação por microrganismos, utilizando os sistemas teste de Allium cepa e cultura de células de mamífero.** 2009. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas - Biologia Celular e Molecular) – Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2009. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/a5f41659-bc1c-4495-b79a-3375b285a035/content>

McDONALD, Brian C.; DE GOUW, Joost A.; GILMAN, Jessica B.; JATHAR, Shantanu H.; AKHERATI, Ali; CAPP, Christopher D.; JIMENEZ, Jose L.; LEE-TAYLOR, Julia; HAYES, Patrick L.; McKEEN, Stuart A.; CUI, Yu Yan; KIM, Si-Wan; GENTNER, Drew R.; ISAACMAN-VANWERTZ, Gabriel; GOLDSTEIN, Allen H.; HARLEY, Robert A.; FROST, Gregory J.; ROBERTS, James M.; RYERSON, Thomas B.; TRAINER, Michael. Volatile chemical products emerging as largest petrochemical source of urban organic emissions. **Science**, v. 359, n. 6377, p. 760-764, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1126/science.aag0524>. Acesso em: 21 ago. 2024

MELIKIAN, A. A., O'CONNOR, R., PRAHALAD, A. K., HU, P., LI, H., KAGAN, M., & THOMPSON, S. (1999). Determination of the urinary benzene metabolites S-phenylmercapturic acid and trans,trans-muconic acid by liquid chromatography-tandem mass spectrometry. **Carcinogenesis**, 20, 719-726. Disponível em: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-0032989171&origin=inward&txGid=4d9b5129d7b1edc406b84a77eda1735c>

MENDONÇA, GLAUCE DE SOUZA; CORDEIRO JÚNIOR, VEBER DE ANDRADE; SILVA, SANDRO LUCAS DA; VERCILLO, LUCIANE ALVES; MARINS, RONALDO BARBOSA. Evolução histórica da saúde ocupacional. **Ciência Atual, Rio de Janeiro**, v. 11, n. 1, p. 02-16, 2018. Disponível em: <https://inseer.ibict.br/cafsj>.

MINISTÉRIO DA ECONOMIA (ME). Relatório Anual de Informações Sociais. 2018. Disponível em: < <http://rais.gov.br/sitio/index.jsf> >.

MINISTÉRIO DA PREVIDÊNCIA SOCIAL. (2024.). Tabelas CID-10. Disponível em: https://www.gov.br/previdencia/pt-br/assuntos/previdencia-social/saude-e-seguranca-do-trabalhador/acidente_trabalho_incapacidade/Tabelas-cid-10

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO (Brasil). Portaria SEPRT n.º 8.873, de 23 de julho de 2021. NR-09 - Avaliação e Controle das Exposições Ocupacionais a Agentes Físicos, Químicos e Biológicos. Disponível em

MONTEIRO, MÔNICA DOMINGUES. **Avaliação das concentrações de BTEX em ambiente indoor: estudo de caso da sala de spinning de uma academia de ginástica – Rio de Janeiro.** 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Estadual do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Área de concentração: Saúde Ambiental e do Trabalho, Rio de Janeiro, 2011.

MOOLLA, RAEESA; CURTIS, CHRISTOPHER J.; KNIGHT, JASPER. Occupational exposure of diesel station workers to BTEX compounds at a bus depot. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 12, n. 4, p. 4101-4115, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijerph120404101>. Acesso em: 14 ago. 2024.

MOSLEY, S., 2001. The chimney of the world: a history of smoke pollution in Victorian and Edwardian Manchester. Cambridge. **White Horse Press**. disponível em: <https://www.environmentandsociety.org/mml/chimney-world-history-smoke-pollution-victorian-and-edwardian-manchester~>

MOURA, R. A.; CORDEIRO, F.; SALES, A. T.; CARVALHO, F. F. Análise da qualidade do ar interno em veículo de passeio: um estudo de caso. **Environmental Scientiae**, v.4, n.2, p.24-40, 2022. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2674-6492.2022.002.0002>

NARDOCCI, Adelaide Cassia. **Avaliação probabilística de riscos da exposição aos hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) para a população da cidade de São Paulo. 2010.** Tese (Livre-Docência) – Departamento de Saúde Ambiental, Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/livredocencia/6/tde-10022011-143955/publico//TeseLDPofaAdelaideCassiaNardocci.pdf>.

NASCIMENTO, MEGGIE KAROLINE SILVA. **Avaliação da Toxicidade dos Hidrocarbonetos Monoaromáticos BTX no Microcrustáceo Marinho Mysidopsis juniaie. 2017.** Dissertação (Mestrado em Ecologia) – Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE, Brasil, 2017.

NGANJE, T.N., EDET, A.E. & EKWERE, S.J. Distribution of PAHs in Surface Soils from Petroleum Handling Facilities in Calabar. **Environ Monit Assess** 130, 27–34 (2007). <https://doi-org.ez83.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s10661-006-9453-9>

NIOSH guide to industrial respiratory protection. 2023. disponível em: <https://www.cdc.gov/niosh/docs/87-116/default.html>

Novos dados da OMS revelam que bilhões de pessoas ainda respiram ar insalubre - OPAS/OMS | **Organização Pan-Americana da Saúde**. Disponível em: <https://www.paho.org/pt/noticias/4-4-2022-novos-dados-da-oms-revelam-que-bilhoes-pessoas-ainda-respiram-ar-insalubre>>. Acesso em: 7 jul. 2024.

OGA, SEIZI; CAMARGO, MÁRCIA MARIA DE ALMEIDA; BATISTUZZO, JOSÉ ANTONIO DE OLIVEIRA. **Fundamentos de toxicologia**. 3. ed. São Paulo: Atheneu, 2008. 677 p.

OIT adiciona segurança e saúde aos direitos fundamentais no trabalho | **As Nações Unidas no Brasil, 2022**. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/186004-oit-adiciona-seguran%C3%A7a-e-sa%C3%BAde-aos-direitos-fundamentais-no-trabalho>, <https://brasil.un.org/pt-br/186004-oit-adiciona-seguran%C3%A7a-e-sa%C3%BAde-aos-direitos-fundamentais-no-trabalho>>. Acesso em: 10 jul. 2024.

ONU Brasil. Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 3: Saúde e Bem-Estar, 2024. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/3>. Acesso em: 10 jul. 2024.

ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO (OCDE) 2021. Average annual hours actually worked per worker. Disponível em: <https://www.oecd.org/en/data/indicators/hours-worked.html>

PAL, R. S., SAH, R. B., OJHA, U. C., SPALGAIS, S., PATRO, M., & KUMAR, S. (2022). Clinico-radiological and Pathological Characteristics of Lung Cancer and its Correlation with their Occupational Profile among Patients of—Employees State Insurance (ESI) Hospital—A Tertiary Care Center in North India. **The Indian Journal of Chest Diseases and Allied Sciences**, 64(3), 160-167. DOI: 10.5005/jp-journals-11007-0050.

PAZ, A. P. S., NASCIMENTO, E. C. P., MARCONDES, H. C., SILVA, M. C. F., HAMOY, M., & MELLO, V. J. (2017). Presença de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos em produtos alimentícios e a sua relação com o método de cocção e a natureza do alimento. *Brazilian Journal of Food Technology*, 20, e2016102. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/bjft/a/LyHnXssYb4BcgCzkZCFgcvD/?format=pdf&lang=pt>

PEGA F, NÁFRÁDI B, MOMEN NC, UJITA Y, STREICHER KN, PRÜSS-ÜSTÜN AM; TECHNICAL ADVISORY GROUP; DESCATHA A, DRISCOLL T, FISCHER FM, GODDERIS L, KIIVER HM, LI J, MAGNUSSON HANSON LL, RUGULIES R, SØRENSEN K, WOODRUFF TJ. Global, regional, and national burdens of ischemic heart disease and stroke attributable to exposure to long working hours for 194 countries, 2000-2016: A systematic analysis from the WHO/ILO Joint Estimates of the Work-related Burden of Disease and Injury. **Environ Int.** 2021 Sep; 154:106595. doi: 10.1016/j.envint.2021.106595. Epub 2021 May 17. PMID: 34011457; PMCID: PMC8204267.

PETIT, PASCAL; MAÎTRE, ANNE; PERSSONS, RENAUD; BICOUT, DOMINIQUE J. Modeling the exposure functions of atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbon mixtures in occupational environments. **Science of The Total Environment**, [s.l.], v. 584-585, p. 1185-1197, 15 abr. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.168>.

PICELI, PAULO CEZAR; LISBOA, HENRIQUE DE MELO. **Quantificação de benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos no ar de ambientes internos. Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 23, n. 3, p. xx-xx, maio/jun. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522018119310>.

RAMAZZINI, B. As doenças dos trabalhadores. 4. ed. ed. São Paulo: **Fundacentro**, 2016. disponível em: http://biblioteca.fundacentro.gov.br/permalink/f/1lu5tu9/fjd_aleph000053613

RAO, G., & VEJERANO, E. P. (2018). Partitioning of volatile organic compounds to aerosols: A review. **Chemosphere**, 212, 282-296. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.08.073>.

REIS, MARCELO; **Avaliação de risco de benzeno em volta redonda: as incertezas na avaliação da exposição**.87. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Saúde Pública e Meio Ambiente) - Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca.

RODRIGUES, O. K., FLEISCHMANN, R. U., & SANTOS, A. A. F. (2019). Subnotificação de acidentes do trabalho com morte no estado do Rio Grande do Sul em 2016: discrepâncias das estatísticas previdenciárias oficiais. **Revista da Escola Judicial do TRT4**, 1(1), 151-180. Disponível: <https://rejrtr4.emnuvens.com.br/revistaejud4/article/view/15/11>

SAMET JM, SPENGLER JD. Indoor environments and health: moving into the 21st century. **Am J Public Health**. 2003 Sep;93(9):1489-93. doi: 10.2105/ajph.93.9.1489. PMID: 12948968; PMCID: PMC1447998.

SAN-EI, 2024 Occupational Exposure Limits. Disponível em: <https://www.sanei.or.jp/english/oels/index.html>.

SANJUÁN-HERRÁEZ, D., LLISO, I., PASTOR, A., & DE LA GUARDIA, M. (2012). Green determination of the presence of volatile organic compounds in vehicle repair shops through passive sampling. **Talanta**, 98, 40-48. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2012.06.034>.

SANTOS, A. S. E., MARTINS, A. A. F., GONÇALVES, E. S., & MEYER, A. (2020). Mortalidade de cânceres selecionados entre a Mecânica Brasileira. **Asia-Pacific Journal of Cancer Prevention**, 21(6), 1779-1786. 9 disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7568884/>

SCHNATTER, A. R., ROSAMILIA, K., & WOJCIK, N. C. (2005). Review of the literature on benzene exposure and leukemia subtypes. **Chemico-Biological Interactions**, 153-154, 9-21. <https://doi.org/10.1016/j.cbi.2005.03.039>.

SEKAR, ABINAYA; VARGHESE, GEORGE K.; VARMA, M.K. RAVI. Analysis of benzene air quality standards, monitoring methods and concentrations in indoor and outdoor environment. **Heliyon**, v. 5, n. 11, 2019, e02918. ISSN 2405-8440. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02918>.

SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS (SEBRAE). Comércio e serviços: reparação de veículos automotores. 2017. Disponível em: <https://m.sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/UFs/BA/Anexos/Repara%C3%A7%C3%A3o%20de%20ve%C3%ADculos%20automotores.pdf>.

SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS (SEBRAE). Pequenos negócios: a base da economia do nosso país (2023). Disponível em: <https://sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/pequenos-negocios-a-base-da-economia-do-nosso-pais,85e97325a3937810VgnVCM1000001b00320aRCRD>. Acesso em: 17 ago. 2024.

SETTE, CARLA BORGES. **Formação e identificação de metabólitos de fenantreno e homólogos alquilados em caranguejo *Ucides cordatus***. 2010. Dissertação (Mestrado em Química) - Programa de Pós-graduação em Química, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

SIGMA-ALDRICH. Supelco ORBO™ 43 activated charcoal sampling tube, 2024. Disponível em: <https://www.sigmaaldrich.com/BR/pt/product/supelco/20357>. Acesso em: [data de acesso].

SILVA, ALEXANDRE FERNANDO DA; VIEIRA, CARLOS ALEXANDRE. Aspectos da poluição atmosférica: uma reflexão sobre a qualidade do ar nas cidades brasileiras. **Ciência e Sustentabilidade** - CeS, Juazeiro do Norte, v. 3, n. 1, p. 166-189, jan./jun. 2017. ISSN 2447-4606. Disponível em: periodicos.ufca.edu.br/ojs/index.php/cienciasustentabilidade/article/view/180/pdf%20180

SILVA, CESAR APARECIDO DA; SILVA, MORGANA VAZ DA; MELEGARI, SILVIA PEDROSO; VIEIRA, AMANARA POTYKYTÃ DE SOUZA DIAS; ARMANI, FERNANDO AUGUSTO SILVEIRA. O Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária do Centro de Estudos do Mar. In: SILVA, Cesar Aparecido da (org.). **Engenharia ambiental e sanitária. Pontal do Paraná, 2022. v. 1.** Ebook. Disponível em: <http://www.cem.ufpr.br/portal/ambientalsanitaria/>.

SILVA, D. B. N. da. **Monitoramento das concentrações de aldeídos e BTEX como precursores de ozônio e o efeito final de semana das concentrações de ozônio na região de Bangú. 2014. 95f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental)** - Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014

SILVA, P.F.; LACERDA, C.A.; MARQUES, A.L.B.; MARQUES, E.P. Avaliação do teor de BTX em gasolinas comerciais no estado do Maranhão. Iniciação Científica. **58º Congresso Brasileiro de Química**, 2018. ISBN 978-85-85905-23-1. Disponível em: <https://www.abq.org.br/cbq/2018/trabalhos/13/1787-21234.html>.

SINDIPEÇAS - Sindicato Nacional da Indústria de Componentes para Veículos Automotores. Frota Circulante. 2024 Disponível em: <https://www.sindipecas.org.br/area-atuacao/?co=s&a=frota-circulante>.

SKC INC. Sorbent Tubes: Anasorb CSC (Coconut Charcoal). Disponível em: <https://www.skcinc.com/products/sorbent-tubes-anasorb-csc-coconut-charcoal-1>
SmartLab. (2024.). Frequência de Acidentes. Disponível em: <https://smartlabbr.org/sst/localidade/0?dimensao=frequenciaAcidentes>

SMITH, CARR J.; PERFETTI, THOMAS A. 142 ACGIH **Threshold Limit Values® (TLV®s) established from 2008-2018 lack consistency and transparency.** Open Access Research Article, 20 jan. 2019. Disponível em: <https://doi-org.ez29.periodicos.capes.gov.br/10.1177/2397847318822137>. Acesso em: 24 jul. 2024

SOFUOGLU, S. C., ASLAN, G., INAL, F., & SOFUOGLU, A. (2011). An assessment of indoor air concentrations and health risks of volatile organic compounds in three primary schools. **International Journal of Hygiene and Environmental Health**, 214(1), 36-46. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2010.08.008>.

SOTO, JOSÉ MANUEL, O. GANA; DUARTE, IRENE F. SOUZA; GIAMPAOLI, EDUARDO; FANTAZZINE, Mario Luiz. Norma Regulamentadora (NR 15) - um pouco de sua história e considerações. **Revista ABHO, n.º 21.** Disponível em: https://abho.org.br/wp-content/uploads/2024/01/revista_abho_21.pdf. Acesso em: 24 jul. 2024.

STRAIF, K.; BAAN, R.; GROSSE, Y.; SECRETAN, B.; EL GHISSASSI, F.; COGLIANO, V. Carcinogenicidade da combustão de combustíveis sólidos domésticos e de frituras a altas temperaturas. **Lancet Oncology**, v. 7, p. 977-978, 2006. (disponível em: <https://www-sciencedirect-com.ez83.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S147020450670969X/pdf?md5=c0c077e3d7e6270eb7c3cd1225a3c4b4&pid=1-s2.0-S147020450670969X-main.pdf>)

Tounsadi H, Metarfi Y, Taleb M, El Rhazi K, Rais Z. Impact of chemical substances used in textile industry on the employee's health: Epidemiological study. **Ecotoxicol Environ Saf.** 2020 Jul 1;197:110594. doi: 10.1016/j.ecoenv.2020.110594. Epub 2020 Apr 23. PMID: 32335392.

TUSTIN, AARON W.; JONES, ALISON; LOPEZ, GAYLORD P.; KETCHAM, GLENN R.; HODGSON, MICHAEL J. Occupational chemical exposures: a collaboration between the Georgia Poison Center and the Occupational Safety and Health Administration. **Clinical Toxicology**, v. 56, n. 1, p. 55–62, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/15563650.2017.1338718>. Acesso em: 17 ago. 2024.

UNIÃO EUROPEIA. Air Quality. The EU sets air quality standards to protect human health and the environment. Disponível em: https://environment.ec.europa.eu/topics/air/air-quality_en.

UNIÃO EUROPEIA. Parlamento Europeu e Conselho. Directiva 2008/50/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 21 de maio de 2008 sobre a qualidade do ar ambiente e um ar mais limpo para a Europa. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:32008L0050>

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). Evolution of the Clean Air Act. Disponível em: <https://www.epa.gov/clean-air-act-overview/evolution-clean-air-act#:~:text=Clean%20Air%20Act%20Amendments%20of%201990,-Another%20set%20of&text=The%201990%20CAA%20substantially%20increased,of%20stationary%20source%20operating%20permits>. Acesso em: 17 ago. 2024.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (US.EPA).2024 AirToxScreen Glossary of Terms. Disponível em: <https://www.epa.gov/AirToxScreen/airtoxscreen-glossary-terms#hi>. United States Environmental Protection Agency (US.EPA). National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants for Reciprocating Internal Combustion Engines. 2004. Disponível em: <https://www.epa.gov/stationary-engines/national-emission-standards-hazardous-air-pollutants-reciprocating-internal-0>. Acesso em nov 2020

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (US.EPA). Risk Assessment Guidance for Superfund (RAGS) Part F,2009 Disponível em: <https://www.epa.gov/risk/risk-assessment-guidance-superfund-rags-part-f>

UNITED STATES. Occupational Safety and Health Administration (OSHA). OSHA defines the work environment. Disponível em: <https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1904/1904.5#:~:text=OSHA%20defines%20the%20work%20environment,a%20condition%20of%20their%20employment>.

US.EPA, United States Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards. (1998). Locating and Estimating Air Emissions from Sources of Polycyclic Organic Matter (EPA-454/R-98-014). **Research Triangle Park**, NC. Disponível em: https://www.epa.gov/sites/default/files/2020-11/documents/polycyclic_organic_matter.pdf

VARIAN, Inc. 210-MS, 220-MS, and 225-MS GC/MS Ion Trap Mass Spectrometer: Hardware Operation Manual. Walnut Creek: Varian, Inc., 2700 Mitchell Drive, Walnut Creek, CA 94598-1675, USA, 2014.

VASCONCELLOS, LUIZ CARLOS FADEL DE; AGUIAR, LUCIENE. Saúde do Trabalhador: necessidades desconsideradas pela gestão do Sistema Único de Saúde. *Saúde em debate*, v. 41, p. 605-617, 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/sdeb/a/LfrcYhb3bt7fHkD6gbzfY9f/abstract/?lang=pt>

VINCENT, R.; BONTHOUX, F.; MALLET, G.; IPARRAGUIRRE, J.-F.; RIO, S. Méthodologie d'évaluation simplifiée du risque chimique: un outil d'aide à la décision. *Hygiène et sécurité du travail - Cahiers de notes documentaires*, 3e trimestre 2005, p. 200.

WAGNER, MANDY; BOLM-AUDORFF, ULRICH; HEGEWALD, JANICE; FISHTA, ALBA; SCHLATTANN, PETER; SCHMITT, JOCHEN; SEIDLER, ANDREAS. Occupational polycyclic aromatic hydrocarbon exposure and risk of larynx cancer: a systematic review and meta-analysis. 2014. Disponível em: <https://doi-org.ez83.periodicos.capes.gov.br/10.1136/oemed-2014-102317>. Acesso em: 27 jul. 2024.

WANG, ZUKUN; LIU, JUNJIE; YAO, MINGYAO; HE, MINGTONG; SHANG, WENZHE; DONG, XINYUE. Indoor air quality and sick-building syndrome at a metro station in Tianjin, **China**. *Environment International*, v. 187, 2024, p. 108673. ISSN 0160-4120. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2024.108673>.

WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants, 2010. Disponível em: <<https://www.who.int/publications/i/item/9789289002134>>. Acesso em: 19 jul. 2024. WHO. (2010). WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants (p. 38) <https://apps.who.int/iris/rest/bitstreams/1095016/retrieve> .

WICKLIFFE, J. K., STOCK, T. H., HOWARD, J. L., FRAHM, E., SIMON-FRIEDT, B. R., MONTGOMERY, K., WILSON, M., LICHTVELD, M. Y., & HARVILLE, E. W. (2020). Increased long-term health risks attributable to select volatile organic compounds in residential indoor air in southeast Louisiana. *Nature Portfolio*, 10(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-78756-7>

WILSON, M. P., HAMMOND, S. K., NICAS, M., & HUBBARD, A. E. (2007). Worker Exposure to Volatile Organic Compounds in the Vehicle Repair Industry. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 4(5), 301-310. <https://doi.org/10.1080/15459620701258021>

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). (2014) Ambient (outdoor) air quality and health. Fact Sheet n. 313. Disponível em: <Disponível em: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/en/> >

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). WHO global air quality guidelines: Particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide(2021) Disponível em: <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/345329/9789240034228-eng.pdf?sequence=1>.

World Health Organization (WHO). World health statistics 2006. WHO Press: World Health Organization, Switzerland. 2006. Disponível em < <https://www.who.int/whosis/whostat2006.pdf>> Acesso em abr 2020

World Health Organization, & International Labour Organization. (2021). WHO/ILO joint estimates of the work-related burden of disease and injury, 2000-2016: global monitoring report. Geneva: World Health Organization and International Labour Organization. Disponível em: <https://www.who.int/teams/environment-climate-change-and-health/monitoring/who-ilo-joint-estimates>. Acesso em: 08 jul. 2024.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. Exposure to benzene: a major public health concern. Geneva: WHO, 2010. (Preventing disease through healthy environments).

WORLD HEALTH ORGANIZATION. Household air pollution and health,2024. Disponível em: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/household-air-pollution-and-health>. Acesso em: 10 jul. 2024.

WU, DANCHEN; CHEN, LIU; MA, ZHIJING; ZHOU, DALIN; FU, LE; LIU, MENGMEG; ZHANG, TIANER; YANG, JING; ZHEN, QUAN. Source analysis and health risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbon (PAHs) in total suspended particulate matter (TSP) from Bengbu, **China. Scientific Reports**, v. 14, p. 5080, 2024. DOI: 10.1038/s41598-024-55695-1. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10907572/>.

YANG, CHUN; YANG, ZEYU; ZHANG, GONG; HOLLEBONE, BRUCE; LANDRIAULT, MIKE; WANG, ZHENDI; LAMBERT, PATRICK; BROWN, CARL E. Characterization and differentiation of chemical fingerprints of virgin and used lubricating oils for identification of contamination or adulteration sources. **Fuel**, v. 163, p. 271-281, 2016. ISSN 0016-2361. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2015.09.070>.

YIN, JIE; KANG, JIAQI; LI, MINGSHU; XIE, YING; ZHU, YU; ZHANG, JINGYU. ENHANCED catalytic performance of Ni-based catalysts supported on mesoporous CeO₂ for CO₂ methanation. **Catalysis Communications**, v. 141, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1382668920301940?via%3Dihub>.

ZAHEH, Mohammad Ali; SALEHI, Samira; AKBARZADEH KHOEI, Mahtab; ESMAEILI, Pedram; MOHAJERI, Leila. Risk assessment of Benzene, Toluene, Ethyl benzene, and Xylene (BTEX) in the atmospheric air around the world: A review. **Toxicology in Vitro**, v. 98, p. 105825, jun. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tiv.2024.105825>

ZHANG, X., LIN, S., FUNK, W. E., & HOU, L. (2013). Republished: Environmental and occupational exposure to chemicals and telomere length in human studies. **Postgraduate Medical Journal**, 89(1058), 722–728. <https://doi.org/10.1136/postgradmedj-2012-101350rep>.

ZHAO, Q.; LI, Y.; CHAI, X.; XU, L.; ZHANG, L.; NING, P.; HUANG, J.; TIAN, S.
Interaction of inhalable volatile organic compounds and pulmonary surfactant: potential hazards of VOCs exposure to lung. *Journal of Hazardous Materials*, v. 369, p. 512-, 2019.
Disponível em: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85061909055&origin=inward&txGid=f0fe4f804f78732659736bdb6e234b26>

APÊNDICE A – CARACTERÍSTICAS DOS COMPOSTOS BTEX


Tabela 27 - Características do Benzeno	
Número CAS	71-43-2
Fórmula molecular	C ₆ H ₆
Fórmula estrutural	
Peso molecular	78,11
Solubilidade em água (mg/l a 25°C)	1790
Coefficiente de partição octanol-água (log kow)	2,13
Ponto de fusão (°C)	5,5
Ponto de ebulição (°C)	80,1
Pressão de vapor (mmhg a 25°C)	94,8
Valor de referência tecnológico - NR 15	<p>1,0 ppm para todas as empresas que produzem, transportam, armazenam, utilizam ou manipulam benzeno e suas misturas líquidas contendo 1% (um por cento) ou mais de volume e aquelas por elas contratadas, no que couber.</p> <p>2,5 ppm para as empresas siderúrgicas.</p>
LEO ACGIH (TWA)	0,02 ppm
LEO - OSHA -(TWA)	1 ppm
LEO - União Europeia (TWA)	0,5
LEO - Nova Zelândia (TWA)	0,05

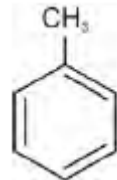
Tabela 28 - Características do Benzeno (conclusão)

LEO - Japão (O Valor de referência Refere-se à probabilidade de um indivíduo desenvolver câncer devido à exposição a uma substância ao longo de sua vida.	10 ⁻³ -significa que há uma chance em mil (1 em 1.000) de uma pessoa desenvolver câncer como resultado da exposição ao benzeno ao longo de sua vida. Ex: baseado no entendimento de que se uma pessoa fosse exposta a essa concentração de benzeno continuamente ao longo de sua vida de trabalho (por exemplo, 40 anos), haveria um risco de 1 em 1.000 de essa pessoa desenvolver câncer devido à exposição ao benzeno.
Classificação quanto a carcinogenicidade	Grupo 1 - O agente (mistura) é cancerígeno para humanos
Efeitos agudos principais	Distúrbios do sistema nervoso central - SNC (excitação, depressão)
Efeitos crônicos principais	Doenças benignas e malignas do sangue, sistema hematopoiético e sistema linfático, interferência no sistema imunológico O principal órgão alvo da atividade tóxica é o sistema hematopoiético, mais especialmente a medula óssea, na qual a capacidade das células-tronco de proliferar é prejudicada.
Toxicidade reprodutiva:	Os dados epidemiológicos e experimentais disponíveis não permitem conclusões finais
Mutagenicidade:	Há indicações suficientes para concluir que a exposição de humanos à substância pode levar a distúrbios hereditários
Vida metabólica	Rápida 0.70 h e lenta 13h
Percentual da substância retida após a inalação	Cerca de 40% a 50% é absorvida e retida pelo corpo. O restante é exalado ou eliminado de outras maneiras.

Fonte: Adaptado de ACGIH, 2024; BRASIL, NR 15, 2024; GESTIS, 2024; ATSDR, 2007; IFA, 2024; Mazzeo, 2009, Yin *et al.*, 2020.

Importante destacar que a IARC e OMS já admitiram que não existe um limite seguro de exposição ao Benzeno (IARC, 2012; WHO, 2010) inclusive isso é descrito na legislação brasileira (NR 15), quando estes não determinaram um LT, mas sim um valor de referência tecnológico, ora definido como: se refere à concentração de benzeno no ar considerada exequível do ponto de vista técnico, definido em processo de negociação tripartite (BRASIL, NR 15, 2024).

Tabela 29 - Características do tolueno (parte 1)

Número CAS	108-88-3
Fórmula molecular	C ₇ H ₈
Fórmula estrutural	
Peso molecular	92,13
Solubilidade em água (mg/l a 25°C)	526
Coefficiente de partição octanol-água (log kow)	2,73
Ponto de fusão (°C)	-95,0
Ponto de ebulição (°C)	110,4
Pressão de vapor (mmhg a 25°C)	28,4
LEO - NR 15	78 ppm (valor teto e média da jornada)
LEO - ACGIH (TWA)	20 ppm
LEO - OSHA -(TWA)/ (STEL)	200 ppm / 300 ppm
LEO - União Europeia -(TWA)/ (STEL)	50 ppm /100 ppm
LEO - Nova Zelândia (TWA)/ (STEL)	20 ppm/100 ppm

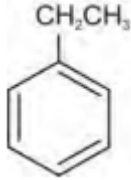
Fonte: Elaborada pelo autor.

Tabela 30 - Características do tolueno (conclusão)

LEO - Japão (TWA)	20 ppm
Classificação quanto a carcinogenicidade	Grupo 3- Não classificável como carcinogênico humano
Efeitos agudos principais	Os efeitos sistêmicos no sistema nervoso central são o principal problema. Estima-se que concentrações a partir de cerca de 2000 ppm durante 30 minutos podem causar morte como consequência da depressão do SNC.
Efeitos crônicos principais	Danos manifestos ao SNC (danos ao cerebelo e ao trato corticoespinhal) e distúrbios funcionais nos rins em casos isolados. É um agente considerado ototóxico, refere-se a substância sozinha ou em combinação com ruído, mesmo em intensidades inferiores a 85 dba, em causar danos a audição.
Toxicidade reprodutiva:	De acordo com o material informativo disponível, suspeita-se de um risco de ação tóxica reprodutiva.
Mutagenicidade:	Ausência de efeitos genotóxicos
Vida metabólica	Rápido 0.88 h e lento 12.9 h
Percentual da substância retida após a inalação	Cerca de 40% a 50% é absorvida e retida pelo corpo. O restante é exalado ou eliminado de outras maneiras.

Fonte: Adaptado de ACGIH, 2024; BRASIL, NR 15, 2024; Gestis, 2024; ATSDR, 2007; IFA, 2024; Mazzeo, 2009, Yin *et al.*, 2020.

Tabela 31 - Características do etilbenzeno

Número CAS	100-41-4
Fórmula molecular	C ₈ H ₁₀
Fórmula estrutural	
Peso molecular	106,17
Solubilidade em água (mg/l a 25°C)	106,17
Coefficiente de partição octanol-água (log kow)	3,12
Ponto de fusão (°C)	-25,0
Ponto de ebulição (°C)	144,4
Pressão de vapor (mmhg a 25°C)	6,61
LEO - NR 15	78 ppm
LEO - ACGIH (TWA)	20 ppm
LEO - OSHA -(TWA)/ (STEL)	100 ppm
LEO - União Europeia -(TWA)/ (STEL)	100 ppm/200 ppm
LEO - Nova Zelândia (TWA)/ (STEL)	20 ppm/40 ppm

Fonte: Elaborada pelo autor.

Tabela 32 - Características etilbenzeno (conclusão)

LEO - Japão (TWA)/	20 ppm
Classificação quanto a carcinogenicidade	Grupo 2 B - Possivelmente carcinogênico para humano
Efeitos agudos principais	Irritação aos olhos e vias respiratórias. Há distúrbios no SNC com sintomas como cansaço, dor de cabeça e tontura
Efeitos crônicos principais	Danos manifestos ao SNC e distúrbios funcionais nos rins em casos isolados. É um agente considerado ototóxico, refere-se a substância sozinha ou em combinação com ruído, mesmo em intensidades inferiores a 85 dba, em causar danos a audição.
Toxicidade reprodutiva:	Ausência de efeitos
Mutagenicidade:	Ausência de efeitos
Vida metabólica	Rápido 0.69 h e lento 19.2 h
Percentual da substância retida após a inalação	Cerca de 49% a 64% é absorvida e retida pelo corpo. O restante é exalado ou eliminado de outras maneiras.

Fonte: Adaptado de: ACGIH, 2024; BRASIL, NR 15, 2024; Gestis, 2024; ATSDR, 2007; IFA, 2024; Mazzeo, 2009, Yin *et al.*, 2020.

Tabela 33 - Características do xileno e seus isômeros (parte 1)

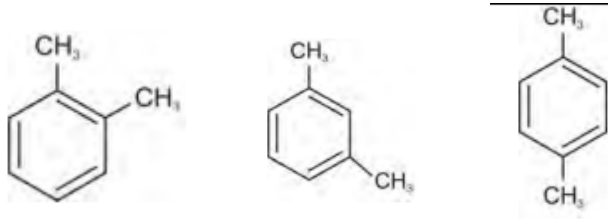
Orto-xileno Número cas	95-47-6
Meta-xileno Número cas	108-38-3
Para-xileno Número cas	106-42-3
Fórmula molecular Orto-xileno	C ₈ H ₁₀
Fórmula molecular Meta-xileno	
Fórmula molecular xileno	
Fórmula estrutural	 <p style="text-align: center;">Orto Xileno Meta Para xileno</p> <p style="text-align: center;">xileno</p>
Peso molecular	106,17
Solubilidade em água (mg/l a 25°C)	Orto Xileno (0,8800) / Meta xileno (0,8640) / Para xileno (0,8611)
Coeficiente de partição octanol-água (log kow)	Orto Xileno (178) / Meta xileno (161) / Para xileno (162)
Ponto de fusão (°C)	Orto Xileno (3,12) / Meta xileno (3,20) / Para xileno (3,15)
Ponto de ebulição (°C)	Orto Xileno (-25,0) / Meta xileno (-47,9) / Para xileno (-14,0)
Pressão de vapor (mmhg a 25°C)	Orto Xileno (144,4) / Meta xileno (139,0) / Para xileno (138,3)
LEO - NR 15	78 ppm
LEO- ACGIH (TWA)	20 ppm
LEO - OSHA -(TWA)/	100 ppm
LEO - União Europeia -(TWA)/ (STEL)	50 ppm / 100 ppm
LEO - Nova Zelândia (TWA)	50 ppm

Tabela 34 - Características xileno (conclusão)

LEO- Japão (TWA)/	50 ppm
Classificação quanto a carcinogenicidade	O agente não é classificável como cancerígeno para humanos
Efeitos agudos principais	Causou irritação aos olhos e vias respiratórias. Há distúrbios no SNC com sintomas como cansaço, dor de cabeça e tontura.
Efeitos crônicos principais	Danos manifestos ao SNC e distúrbios funcionais nos rins em casos isolados. É um agente considerado ototóxico, refere-se a substância sozinha ou em combinação com ruído, mesmo em intensidades inferiores a 85 dba, em causar danos a audição.
Toxicidade reprodutiva:	Ausência de efeitos
Mutagenicidade:	Ausência de efeitos
Vida metabólica	Rápido 0.84 h e lento 10.9 h.
Percentual da substância retida após a inalação	Cerca de 60% a 70% é absorvida e retida pelo corpo. O restante é exalado ou eliminado de outras maneiras.

Fonte: Adaptado de: ACGIH, 2024; BRASIL, NR 15, 2024; Gestis, 2024; ATSDR, 2007; IFA, 2024; Mazzeo, 2009, Yin *et al.*, 2020.

APÊNDICE B – RESUMO DOS METODOS DE COLETAS – BTEX E HPAs

Tabela – 35 – Detalhamento da coleta do contaminantes

Amostragem ativa (sucção de ar através de bombas de amostragens) para todos os compostos;								
Agente	Vazão	Amostrador	Tempo de coleta	Volume de ar coletado	Total de dias de monitoramento	Número de amostras	Pontos de amostragem	Cadeia de custódia
BTEX	1,0 Lmin ⁻¹	Cartuchos de adsorventes de carvão de casca de coco, tamanho 6 x 70 mm, 2 seções, 100/50 mg, modelo SKC 226-01	7 horas * Primeiro dia foi apenas 3 horas	média 0,180 m ³ , e para o período de 7 horas, em média 0,420 m ³ de ar	11	33 amostras	P1 - Entrada/recepção dos motores P2 - Meio /Usinagem P3 – lavagem de peças	Após o final do dia de cada coleta, os tubos eram removidos das bombas de amostragem, devidamente catalogados, vedados com as tampas específicas do amostrador, protegidos por papel-alumínio, colocados em uma caixa de isopor com gelo em gel e, posteriormente, transportados para um refrigerador onde ficavam armazenados sob temperaturas negativas para posterior análise.
HPAs	1,5 Lmin ⁻¹	Cartuchos adsorventes de CHAD 2, ORBO, modelo 609, com dimensões de 8 x 115 mm.		três horas de amostragem, foi em média 0,196 m ³ , enquanto nos demais dias foi de 0,630 m ³ .	8*	22 amostras		

* Número menor de coletas devido a falta de tubos adsorventes
A vazão foi verificada no início das avaliações e ao final, utilizando-se um aferidor digital, fabricante CRIFFER, modelo CR4 lite, data de calibração 05/12/2022
Fonte: Elaborado pelo autor