

ESTUDO DOS COMPOSTOS ORGÂNICOS VOLÁTEIS NA  
ATMOSFERA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO – MARGINAL TIETÊ  
– PONTE DOS REMÉDIOS - SP

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO

SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE, INFRAESTRUTURA E LOGÍSTICA

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO



Governo do Estado de São Paulo  
Tarcísio de Freitas - Governador do Estado de São Paulo

Secretaria de Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística  
Natália Resende - Secretária de Estado

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo  
Thomaz Miazaki de Toledo - Diretor-Presidente

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo  
Diretoria de Gestão Corporativa e Sustentabilidade  
Liv Nakashima Costa - Diretora  
Diretoria de Controle e Licenciamento Ambiental  
Adriano Rafael Arrepia de Queiroz - Diretor  
Diretoria de Qualidade Ambiental  
Carolina Fiorillo Mariani - Diretora  
Diretoria de Avaliação de Impacto Ambiental  
Mayla Matsuzaki Fukushima – Diretora

ESTUDO DOS COMPOSTOS ORGÂNICOS VOLÁTEIS NA  
ATMOSFERA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO – MARGINAL  
TIETÊ – PONTE DOS REMÉDIOS – SP

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO

SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE, INFRAESTRUTURA E LOGÍSTICA

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO

## **Ficha Técnica**

### **Diretoria de Qualidade Ambiental**

Carolina Fiorillo Mariani

### **Departamento de Qualidade Ambiental**

Maria Helena R. B. Martins

### **Divisão de Qualidade do Ar**

Maria Lúcia Gonçalves Guardani

### **Setor de Amostragem e Análise do Ar**

Cristiane F. Fernandes Lopes

### **Elaboração**

Cristiane F. Fernandes Lopes (**Coordenação Técnica**)

### **Equipe de Trabalho**

Daniele P. R. de Carvalho

Giacomo C. Grizzo Cuoco

Graziela Mônico Locchi

Jesuino Romano

Nelson Álamo Filho

Sheila de Castro

Viviane A. de Oliveira Ferreira

### *Capa*

**Vera Severo**

### *Produção Editorial e Distribuição*

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

Av. Prof. Frederico Hermann Jr., 345 - Alto de Pinheiros

São Paulo - SP - Brasil - 05459-900

Telefone: +55 11 3133.3000

<http://www.cetesb.sp.gov.br>

### **© CETESB 2024**

Direitos reservados de distribuição

É permitida a reprodução total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte.



## RESUMO

Dentre os poluentes presentes na atmosfera, além dos regulamentados na legislação, como material particulado, ozônio, dióxido de nitrogênio, dióxido de enxofre e monóxido de carbono, os compostos orgânicos voláteis (COVs) são importantes do ponto de vista ambiental e de saúde pública, sobretudo em áreas urbanas e industriais, desempenhando papel na formação do conjunto de oxidantes fotoquímicos, dos quais se destaca o ozônio.

Os COVs são parte de uma ampla classe de hidrocarbonetos alifáticos e aromáticos, incluindo seus derivados halogenados, álcoois, cetonas e aldeídos. Têm grande importância, na medida em que direta ou indiretamente afetam o meio ambiente e a saúde humana. Podem originar-se naturalmente, a partir de emissões biogênicas em oceanos, florestas, vulcões etc., ou resultar de atividades antropogênicas, como emissões veiculares, produtos de petróleo, químicos, indústrias manufatureiras, entre outras.

Neste estudo, foram medidas as concentrações de 37 compostos orgânicos voláteis, na estação Marginal Tietê- Ponte dos Remédios, em 2022 e 2023, pertencente à rede de monitoramento da qualidade do ar da CETESB. As amostragens foram realizadas a cada seis dias durante 24 horas.

Os compostos que apresentaram concentrações mais elevadas foram os alcanos de baixa massa molecular (C4 e C5) e os compostos aromáticos benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos (BTEX). Estas classes de compostos responderam por cerca de 75% da concentração total de COVs analisados na estação Marginal Tietê – Ponte dos Remédios.

A relação tolueno/benzeno mostrou que as razões entre as médias anuais na estação monitorada, em 2022 e 2023, foram 3,5 e 3,7, respectivamente. Estes valores são da mesma ordem de grandeza dos obtidos nos monitoramentos realizados em outras estações em que as fontes são predominantemente veiculares, como Cerqueira César.

A correlação entre as concentrações de tolueno e benzeno ( $r = 0,94$ ) sugere que estes compostos são provenientes da mesma fonte, no caso o tráfego de veículos.

As médias anuais de benzeno na estação Marginal Tietê – Ponte dos Remédios foram de  $1,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , tanto em 2022 quanto em 2023, portanto inferiores ao valor de referência indicado pela Comunidade Europeia -  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (média anual).

As concentrações de COVs obtidas no monitoramento realizados na Ponte dos Remédios, não diferem muito dos observados na maioria das localidades estudadas no Estado de São Paulo. Em comparação aos estudos realizados em outros países, foram menores em relação aos valores observados nos EUA e semelhantes aos observados em estudos europeus.

**Palavras chave:** Compostos Orgânicos Voláteis, Qualidade do Ar, Marginal Tietê, RMSP

## Lista de Ilustrações e Tabelas

### Figuras

Figura 1 – Localização da estação de monitoramento da qualidade do ar Marginal Tietê – Ponte dos Remédios.....	12
--	----

### Gráficos

Gráfico 1 – Concentrações médias anuais de COVs, na estação na estação Marginal Tietê – Ponte dos Remédios.....	16
Gráfico 2 – Boxplot das concentrações de COVs medidos na Ponte dos Remédios, em 2022.....	17
Gráfico 3 – Boxplot das concentrações de COVs medidos na Ponte dos Remédios, em 2023.....	17
Gráfico 4 – Concentrações diárias de benzeno na estação Ponte dos Remédios em 2022 e 2023.	18
Gráfico 5 – Diagrama de dispersão das concentrações diárias de tolueno em função do benzeno, na estação Ponte dos Remédios, em 2022/2023.....	20

### Tabelas

Tabela 1 - Compostos orgânicos voláteis analisados na campanha de monitoramento de COVs...	14
Tabela 2 – Valores médios, mínimos e máximos das concentrações de COVs obtidas, em 2022 e 2023, na estação Marginal Tietê – Ponte dos Remédios. ....	15

## Lista de Abreviaturas e Siglas

B	Benzeno
BTEX	Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno, Xilenos (orto, meta e para)
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CG/MS	Espectrômetro de massa acoplado a cromatografia gasosa
COV	Compostos orgânicos voláteis
EU	União Europeia
EUA	Estados Unidos da América
LD	Limite de detecção
N	Número de dias
NIST	Instituto Nacional de Padrões e Tecnologia
NPL	National Physical Laboratory
OMS	Organização Mundial da Saúde
T	Tolueno
USEPA	Agência Ambiental Americana



## Lista de Símbolos

$^{\circ}\text{C}$	graus Celcius
eV	elétron-volt
He	hélio
L	litros
m	metro
mm	milímetro
m/z	massa por carga
mL/min	mililitros por minuto
ppb	partes por bilhão
ppm	partes por milhão
$\mu\text{g}$	micrograma
$\mu\text{g}/\text{m}^3$	micrograma por metro cúbico
$\mu\text{m}$	micrometro
r	coeficiente de correlação de pearson
$R^2$	coeficiente de determinação
%	porcentagem

## Sumário

<b>Sumário</b> .....	.09
<b>1 Introdução</b> .....	11
<b>2 Objetivo</b> .....	11
<b>3 Amostragem e Análise</b> .....	11
<b>3.1 Local de Amostragem</b> .....	11
<b>3.2 Metodologia de Amostragem e Análise</b> .....	12
<b>4 Compostos Analisados</b> .....	14
<b>5 Resultados e Discussão</b> .....	14
<b>5.1 Resultados de COVs</b> .....	14
<b>5.2 Diagramas de Distribuição dos Dados (Boxplots)</b> .....	16
<b>5.3 Concentrações de Benzeno na Atmosfera</b> .....	18
<b>5.4 Outros estudos sobre COVs na atmosfera</b> .....	18
<b>5.5 Razões Tolueno/Benzeno</b> .....	19
<b>6 Conclusões</b> .....	22
<b>7 Referências Bibliográficas</b> .....	23



## 1 Introdução

Dentre os poluentes presentes na atmosfera, além dos regulamentados na legislação, como ozônio, dióxido de nitrogênio, dióxido de enxofre, monóxido de carbono e material particulado, os compostos orgânicos voláteis (COVs) são importantes do ponto de vista ambiental e de saúde pública, sobretudo em áreas urbanas e industriais, desempenhando papel na formação do conjunto de oxidantes fotoquímicos, dos quais se destaca o ozônio.

Os COVs são parte de uma ampla classe de hidrocarbonetos alifáticos e aromáticos, incluindo seus derivados halogenados, álcoois, cetonas e aldeídos. Têm grande importância, na medida em que direta ou indiretamente afetam o meio ambiente e a saúde humana. Podem originar-se naturalmente a partir de emissões biogênicas em oceanos, florestas, vulcões etc., ou resultar de atividades antropogênicas, como emissões veiculares, produtos de petróleo, químicos, indústrias manufatureiras, operações de pintura e lavagem a seco, entre outras.

A definição adotada neste relatório foi a da Agência Ambiental dos Estados Unidos (Environmental Protection Agency, USEPA em inglês), que define como compostos orgânicos voláteis todos os compostos de carbono que participam em reações fotoquímicas atmosféricas, exceto monóxido de carbono, dióxido de carbono, ácido carbônico, carbeto metálicos ou carbonatos, além de carbonato de amônia<sup>(1)</sup>.

Neste relatório, são apresentados os resultados dos monitoramentos de COVs realizado na estação Marginal Tietê – Ponte dos Remédios, na cidade de São Paulo, pertencente a rede de monitoramento da qualidade do ar da CETESB, em 2022 e 2023.

## 2 Objetivo

O monitoramento de COVs foi realizado em ambiente urbano com os seguintes objetivos:

- Identificar e quantificar os compostos orgânicos na atmosfera, em locais que sofrem influência de vias de tráfego intenso;
- Fornecer subsídios para a seleção de um conjunto de parâmetros que, juntamente com o monitoramento dos óxidos de nitrogênio, possam contribuir para a gestão e prevenção da poluição fotoquímica;
- Criar um banco de dados que permita avaliar tendências de longo prazo e avaliar a efetividade dos programas de controle das emissões.

## 3 Amostragem e Análise

### 3.1 Local de Amostragem

O monitoramento de COVs foi realizado na estação Marginal Tietê – Ponte dos Remédios, na cidade de São Paulo, nos anos de 2022 e 2023. As amostragens foram realizadas a cada 6 dias, por 24 horas.

A estação Marginal Tietê – Ponte dos Remédios (**Figura 1**) localiza-se na Vila Leopoldina, zona oeste de São Paulo. A estação está instalada no Centro de Treinamento do Comando de Policiamento Rodoviário da Polícia Militar, distante cerca de 15 metros da Marginal do Tietê (sentido norte), que possui tráfego intenso tanto de veículos leves como pesados (caminhões). Quanto a escala de representatividade espacial, a estação é classificada como “microescala”<sup>(2)</sup>, ou seja abrange área de dimensão de poucos metros até 100 metros.



A amostra foi analisada em um cromatógrafo a gás, marca Thermo Trace GC Ultra, acoplado a um espectrômetro de massas DSQII. A separação dos compostos foi realizada utilizando-se coluna capilar Restek – Rxi-1ms, com 60 m de comprimento, 0,32 mm de diâmetro interno e espessura do filme de 1,0 µm. Espectrômetro de massas quadrupolo operando com 70 eV, temperatura na fonte de íons de 230°C, temperatura na linha de transferência de 275 °C, faixa de scan de 35-270 m/z.

Para o controle de possíveis alterações no processo de análise, de modo a compensar erros aleatórios e sistemáticos e efeitos de matriz, foi adicionado um volume fixo de padrão interno, constituído de bromoclorometano, 1,4-difluorobenzeno e clorobenzeno-d5, em todos os padrões, amostras e provas em branco.

Para obtenção das curvas analíticas, um volume de padrão gasoso, Massachusetts Air-Phase Petroleum Hydrocarbons, 1 ppm, fornecido pela Restek, rastreável ao National Institute of Standards and Technology (NIST em inglês), foi diluído em um sistema de diluição dinâmica da Entech – modelo 4600A e recolhido em canister. A concentração final do padrão foi 10 ppb de cada um dos seguintes compostos: 1,3-butadieno, isopentano, MTBE, n-hexano, benzeno, ciclohexano, 2,3-dimetil-pentano, n-heptano, tolueno, n-octano, etilbenzeno, 2,3-dimetil-heptano, m,p-xileno, o-xileno, n-nonano, isopropilbenzeno, 1-etil-3-metilbenzeno, 1,2,3-trimetilbenzeno, n-decano, 1,3,5-trimetilbenzeno, p-isopropiltolueno, butil-ciclohexano, n-undecano, naftaleno e n-dodecano. Em seguida, o canister foi conectado ao CIA Advantage, onde diferentes volumes do padrão foram submetidos ao mesmo procedimento de análise das amostras, produzindo concentrações de 0,5 a 10 ppb, para cada um dos compostos de interesse.

Além dos padrões gasosos Massachusetts APH, foram utilizados os padrões NPL (National Physical Laboratory), uma mistura de compostos orgânicos voláteis em N<sub>2</sub>, com os seguintes analitos: propeno, n-butano, isobutano, 1-buteno, trans-2-buteno, cis-2-buteno, n-pentano, isopentano, trans-2-penteno, isopreno, n-hexano, heptano, benzeno, tolueno, o-xileno, m-xileno, etilbenzeno, 1,2,4- trimetilbenzeno, 1,3,5 - trimetilbenzeno.

Para a quantificação empregou-se o método da regressão linear.

Os compostos meta-xileno e para-xileno não foram quantificados individualmente devido à não separação dos mesmos na coluna cromatográfica.

Para determinação dos limites de detecção do método para todos os compostos analisados foi adotado o Procedimento Operacional Padronizado – SQ PR/LB- 029 – Validação de Métodos Analíticos EAAQ/CETESB<sup>(4)</sup>.



## 4 Compostos Analisados

A **Tabela 1** apresenta os 37 compostos orgânicos voláteis analisados nas campanhas de monitoramento realizadas.

**Tabela 1 - Compostos orgânicos voláteis analisados na campanha de monitoramento de COVs.**

Compostos Orgânicos Voláteis	
propeno (C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> )	etilbenzeno (C <sub>8</sub> H <sub>10</sub> )
1,3-butadieno (C <sub>4</sub> H <sub>6</sub> )	m,p-xileno (C <sub>8</sub> H <sub>10</sub> )
cis-2-buteno (C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> )	o-xileno (C <sub>8</sub> H <sub>10</sub> )
1-buteno (C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> )	n-octano (C <sub>8</sub> H <sub>18</sub> )
trans-2-buteno (C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> )	isooctano (C <sub>8</sub> H <sub>18</sub> )
iso-butano (C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> )	isopropil-benzeno (C <sub>9</sub> H <sub>12</sub> )
n-butano (C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> )	1-metil-3-etilbenzeno (C <sub>9</sub> H <sub>12</sub> )
isopreno (C <sub>5</sub> H <sub>8</sub> )	1,2,3-trimetilbenzeno (C <sub>9</sub> H <sub>12</sub> )
1-penteno (C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> )	1,2,4-trimetilbenzeno (C <sub>9</sub> H <sub>12</sub> )
trans-2-penteno (C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> )	1,3,5-trimetilbenzeno (C <sub>9</sub> H <sub>12</sub> )
iso-pentano (C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> )	n-nonano (C <sub>9</sub> H <sub>20</sub> )
n-pentano (C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> )	2,3-dimetil-heptano (C <sub>9</sub> H <sub>20</sub> )
benzeno (C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> )	naftaleno (C <sub>10</sub> H <sub>8</sub> )
ciclohexano (C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> )	p-isopropiltolueno (C <sub>10</sub> H <sub>14</sub> )
iso-hexano (C <sub>6</sub> H <sub>14</sub> )	butil-ciclohexano (C <sub>10</sub> H <sub>20</sub> )
n-hexano (C <sub>6</sub> H <sub>14</sub> )	n-decano (C <sub>10</sub> H <sub>22</sub> )
tolueno (C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> )	n-undecano (C <sub>11</sub> H <sub>24</sub> )
2,3-dimetil-pentano (C <sub>7</sub> H <sub>16</sub> )	n-dodecano (C <sub>12</sub> H <sub>26</sub> )
n-heptano (C <sub>7</sub> H <sub>16</sub> )	

## 5 Resultados e Discussão

### 5.1 Resultados de COVs

Devido às limitações inerentes aos métodos analíticos, é frequente que dados de COVs ambientais estejam abaixo de um determinado limite de detecção (LD), interferindo nas análises estatísticas, como média, desvio padrão, correlações, análises de regressão e tendências. Dependendo do método utilizado no tratamento dos dados, os resultados podem sofrer alterações consideráveis, tendo sua interpretação prejudicada. Entretanto, estes dados abaixo dos limites analíticos não devem ser desconsiderados na série estudada, pois nestas situações distorções ainda piores podem ser geradas. A escolha da técnica a ser adotada deve ser baseada nas características dos dados, como tamanho da amostra, percentual de dados abaixo do limite de detecção, presença de dados muito discrepantes etc.<sup>(5)</sup>

Neste estudo, para concentrações abaixo do limite de detecção, usou-se metade do limite de detecção (LD/2) no cálculo das concentrações médias anuais.

As concentrações médias anuais dos COVs medidos na Marginal Tietê – Ponte dos Remédios, em 2022 e 2023, estão apresentados nas **Tabela 2** e no **Gráfico 1**. As médias cujos resultados individuais foram inferiores aos limites de detecção em mais de 50% das amostras, estão indicados como <LD.

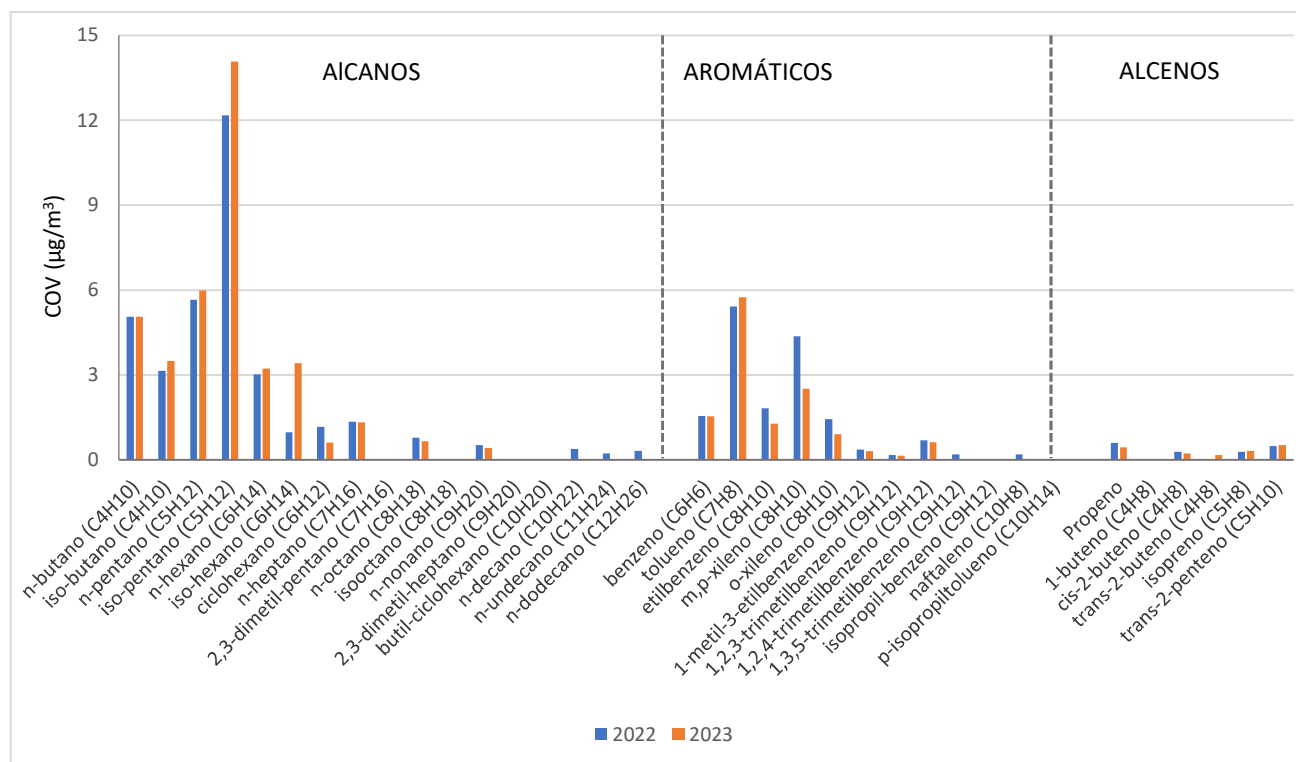
**Tabela 2** – Valores médios, mínimos e máximos das concentrações de COVs obtidas, em 2022 e 2023, na estação Marginal Tietê – Ponte dos Remédios.

COV ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Ponte dos Remédios 2022				Ponte dos Remédios 2023			
	Nº de dados	Média	Mínimo 24h	Máximo 24h	Nº de dados	Média	Mínimo 24h	Máximo 24h
n-butano	45	5,06	1,38	16,75	52	5,06	1,55	18,92
iso-butano	45	3,15	0,74	10,25	52	3,49	0,78	12,51
n-pentano	45	5,66	1,07	22,19	52	5,99	1,15	16,03
iso-pentano	45	12,17	3,00	39,86	52	14,07	3,75	30,96
n-hexano	45	3,03	0,47	11,32	52	3,22	0,59	10,77
iso-hexano	45	0,98	0,06	6,26	52	3,41	0,04	9,28
ciclohexano	45	1,17	0,04	9,11	52	0,62	0,09	2,31
n-heptano	45	1,35	0,33	5,31	52	1,32	0,18	4,09
2,3-dimetil-pentano	45	< LD			52	< LD		
n-octano	45	0,78	0,14	3,00	52	0,66	0,03	2,44
isooctano	45	< LD			52	< LD		
n-nonano	45	0,52	0,03	2,13	52	0,43	0,08	1,85
2,3-dimetil-heptano	45	< LD			52	< LD		
butil-ciclohexano	45	< LD			52	< LD		
n-decano	45	0,39	0,04	1,7	52	< LD		
n-undecano	45	0,23	0,04	1,07	52	< LD		
n-dodecano	45	0,32	0,07	1,57	52	< LD		
benzeno	45	1,56	0,28	5,37	52	1,55	0,29	4,66
tolueno	45	5,42	0,96	20,45	52	5,74	0,89	21,85
etilbenzeno	45	1,82	0,35	5,81	52	1,29	0,27	3,9
m,p-xileno	45	4,36	0,75	20,71	52	2,52	0,36	9,05
o-xileno	45	1,44	0,25	5,33	52	0,91	0,08	3,23
1-metil-3-etilbenzeno	45	0,36	0,03	1,61	52	0,31	0,07	1,68
1,2,3-trimetilbenzeno	45	0,17	0,02	0,69	52	0,14	0,04	0,66
1,2,4-trimetilbenzeno	45	0,68	0,11	2,40	52	0,63	0,04	2,67
1,3,5-trimetilbenzeno	45	0,20	0,03	0,74	52	< LD		
isopropil-benzeno	45	< LD			52	< LD		
naftaleno	45	0,20	0,03	0,68	52	< LD		
p-isopropiltolueno	45	< LD			52	< LD		
Propeno	45	0,61	0,06	3,11	52	< LD		
1-buteno	45	< LD			52	< LD		
1,3-butadieno	45	< LD			53	< LD		
cis-2-buteno	45	0,29	0,04	1,41	52	0,23	0,04	1,38
trans-2-buteno	45	< LD			52	0,17	0,02	1,19
isopreno	45	0,29	0,03	1,13	52	0,32	0,04	1,06
trans-2-penteno	45	0,49	0,03	2,71	52	0,53	0,03	2,46
1-penteno	45	< LD			52	< LD		

LD – Limite de detecção (os valores para cada composto encontram-se no ANEXO)



**Gráfico 1 – Concentrações médias anuais de COVs, na estação na estação Marginal Tietê – Ponte dos Remédios.**



Observa-se no **Gráfico 1** que, de maneira geral, as concentrações médias anuais de COVs obtidas na Ponte dos Remédios foram semelhantes, nos dois anos monitorados, destacando-se os valores mais elevados dos alcanos de baixa massa molecular, com 4 e 5 átomos de carbono como butano e pentano, seguidos pelos aromáticos, como benzeno, tolueno, xilenos e etilbenzeno (BTEX). A porcentagem dos alcanos de C4 e C5 em relação a concentração total de COVs analisados foi 49% do total em 2022 e 54% em 2023, enquanto as concentrações de BTEX corresponderam 28% e 22% do total, em 2022 e 2023, respectivamente.

## 5.2 Diagramas de Distribuição dos Dados (Boxplots)

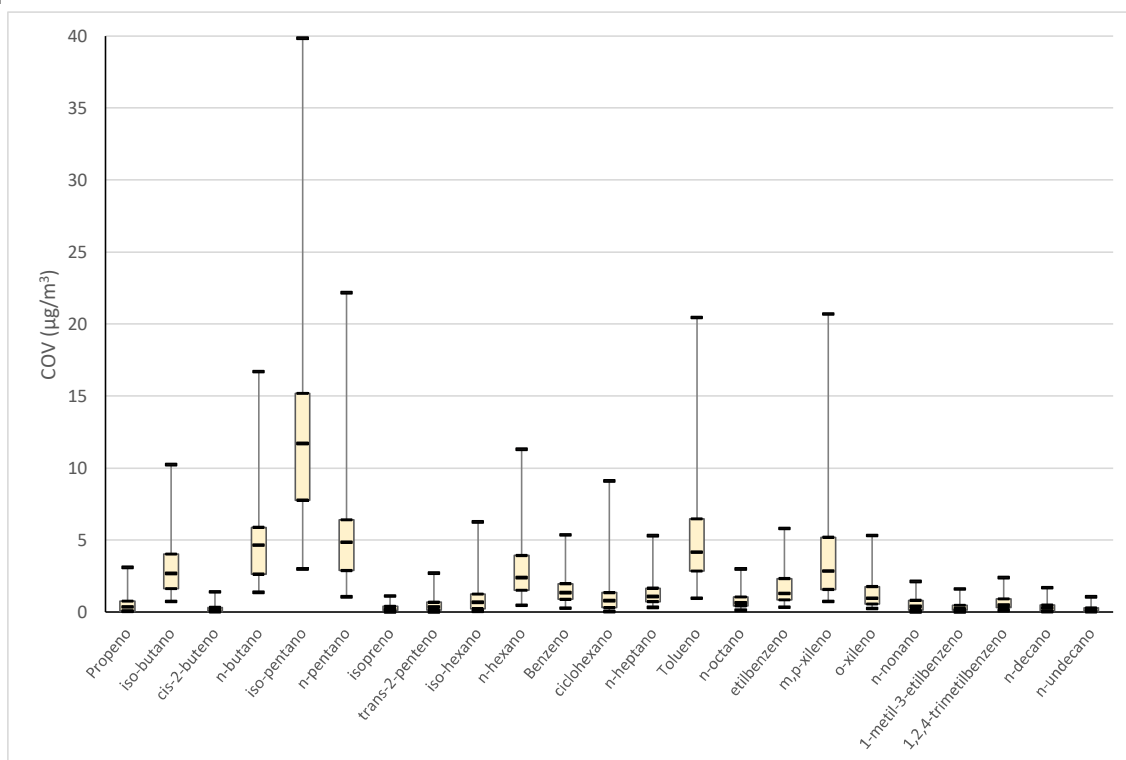
Além das médias de concentração, é importante observar as distribuições relativas dos COVs medidos na estação Marg. Tietê – Ponte dos Remédios, em 2022 e 2023.

Os **Gráficos 2 e 3**, são boxplots, diagramas que fornecem uma análise visual da posição, dispersão, simetria do conjunto de dados, nele são apresentadas a distribuição dos dados de COVs, considerando os dois anos de monitoramento.

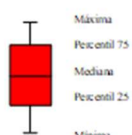
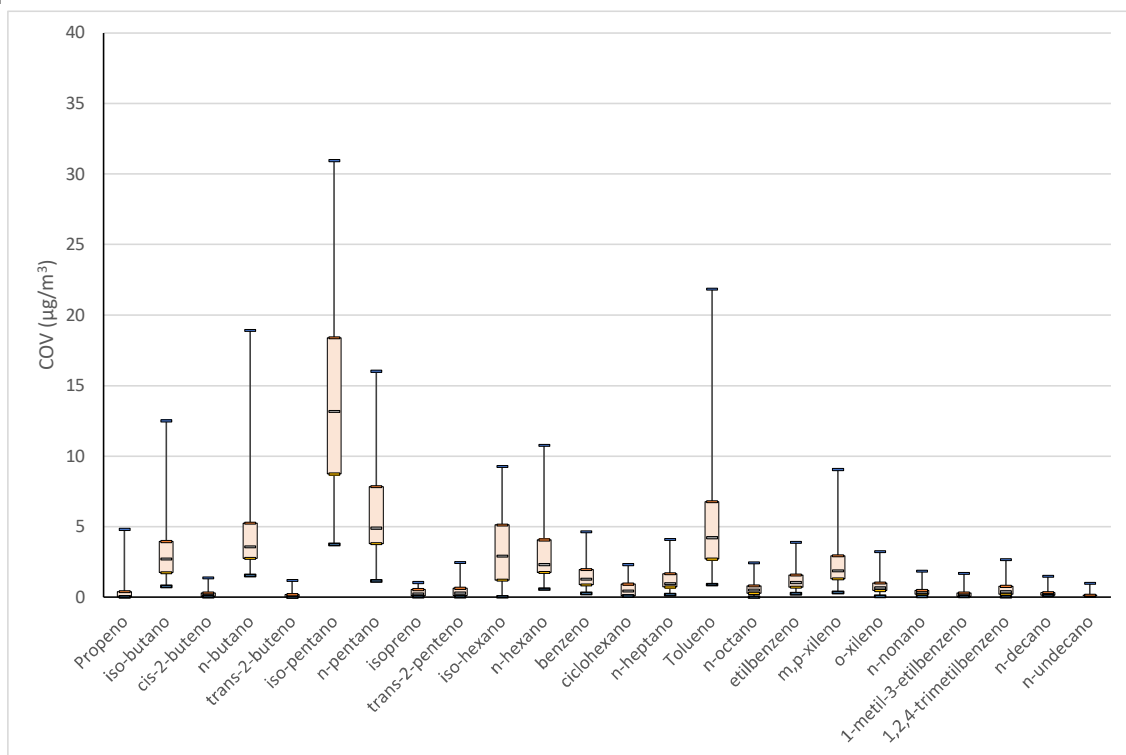
As concentrações de COVs obtidas, em 2023 na Ponte dos Remédios, apresentaram uma variabilidade maior do que as obtidos em 2022. Os compostos que apresentaram maior variabilidade foram iso-pentano, n-pentano, seguidos do tolueno, nos dois anos monitorados.

Observou-se, de maneira geral, uma distribuição simétrica dos dados, tanto em 2022 quanto em 2023.

**Gráfico 2 – Boxplot das concentrações de COVs medidos na Ponte dos Remédios, em 2022.**



**Gráfico 3 – Boxplot das concentrações de COVs medidos na Ponte dos Remédios, em 2023.**



### 5.3 Concentrações de Benzeno na Atmosfera

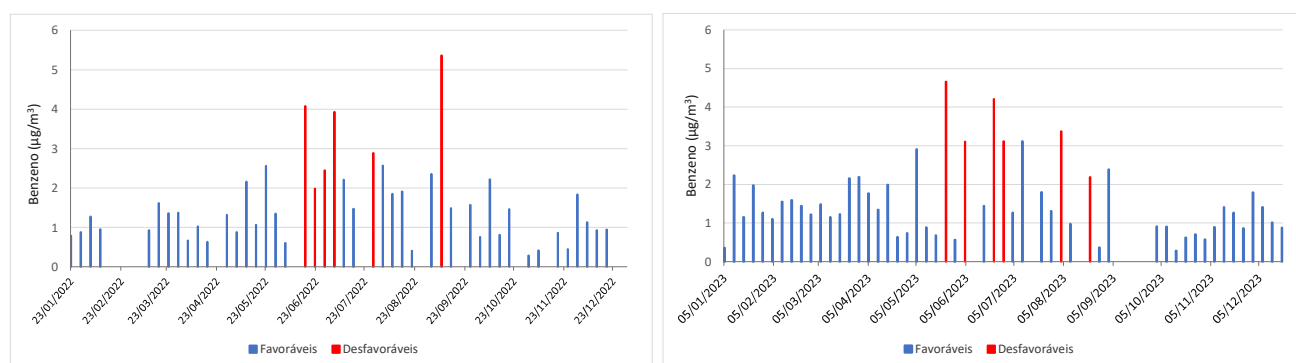
Embora o principal objetivo deste estudo seja o entendimento do comportamento dos COVs, informações disponíveis na literatura, relacionam concentração de benzeno na atmosfera a efeitos a saúde.

A União Europeia adota para o benzeno o valor de referência de  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  - média anual<sup>(6)</sup>. Na legislação brasileira não existem padrões de referência para os compostos orgânicos voláteis.

As médias anuais de benzeno na Marg. Tietê – Ponte dos Remédios, em 2022 e 2023 foram inferiores a  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . A média anual foi  $1,56 \mu\text{g}/\text{m}^3$  em 2022, com máxima de 24h de  $5,37 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , e média de  $1,55 \mu\text{g}/\text{m}^3$  em 2023, com máxima de  $4,66 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

O **Gráfico 4** apresenta as médias diárias de benzeno obtidas na estação Marg. Tietê – Ponte dos Remédios, em 2022 e 2023. Os dias desfavoráveis à dispersão dos poluentes atmosféricos estão representados pelas barras vermelhas nos gráficos.

**Gráfico 4 – Concentrações diárias de benzeno na estação Ponte dos Remédios em 2022 e 2023.**



Observa-se no **Gráfico 4**, que as maiores concentrações diárias de benzeno ocorreram nos dias desfavoráveis à dispersão dos poluentes atmosféricos, tanto em 2022 quanto em 2023. Dias desfavoráveis à dispersão dos poluentes ocorrem, principalmente no período de maio a setembro, devido à maior ocorrência de calmarias, ventos fracos, inversões térmicas mais próximas da superfície e uma menor precipitação pluviométrica.

### 5.4 Outros estudos sobre COVs na atmosfera

Na **Tabela 3**, são apresentadas as médias anuais de alguns compostos cujas concentrações foram mais elevadas neste estudo. Também são apresentados, a título de comparação, valores médios destes mesmos compostos obtidos em outros monitoramentos realizados no Estado de São Paulo e em cidades dos EUA e Europa, em que pese a comparação dos resultados seja complexa uma vez que foram utilizadas diferentes condições, como métodos de amostragem e análise, limites de detecção e diferentes períodos.

**Tabela 3 – Concentrações médias de COVs obtidas em diferentes locais do estado de São Paulo, além de cidades dos EUA e Europa.**

Local	Concentração média (µg/m <sup>3</sup> )									
	benzeno	tolueno	m,p-xileno	o-xileno	etilbenzeno	n-butano	isobutano	n-pentano	isopentano	hexano
RMSP - São Paulo, Marg. Tietê-Pte dos Remédios (tráfego) - 2022	1,6	5,4	4,4	1,4	1,8	5,1	3,1	5,7	12,2	3,0
RMSP - São Paulo, Marg. Tietê-Pte dos Remédios (tráfego) - 2023	1,5	5,7	2,5	0,9	1,3	5,1	3,5	6,0	14,1	3,2
RMSP - São Paulo, Cerqueira César (tráfego) - mar. a dez./2018 <sup>(7)</sup>	1,4	5,2	2,2	0,9	1,3	5,7	6,0	4,7	8,5	2,9
RMSP - São Paulo, Cerqueira César (tráfego) - jan. a dez./2019 <sup>(7)</sup>	1,2	4,5	2,1	0,8	1,3	5,2	3,7	4,6	8,2	2,4
RMSP - Santo André, Capuava (industrial/tráfego) - jan. a nov./2020 <sup>(7)</sup>	3,4	6,0	2,8	1,3	1,6	9,9	11,6	4,3	15,9	1,9
RMSP - Santo André, Capuava (industrial/tráfego) - jan. a nov./2021 <sup>(7)</sup>	3,9	5,9	4,4	1,7	1,9	10,7	7,8	4,4	11,0	2,2
RMSP - Santo André, Capuava (industrial/tráfego) - monitoramento automático/2019 <sup>(9)</sup>	2,8	5,0	-	-	-	-	-	-	-	-
São José dos Campos - Vista Verde (industrial) - monitoramento automático/2021 <sup>(9)**</sup>	0,8	3,3	-	-	-	-	-	-	-	-
Cubatão - Centro (industrial/tráfego) - monitoramento automático/2020 <sup>(9)**</sup>	1,2	4,0	-	-	-	-	-	-	-	-
Cubatão - Centro (industrial/tráfego) - monitoramento automático/2021 <sup>(9)**</sup>	1,5	3,6	-	-	-	-	-	-	-	-
RMSP - São Paulo, Pinheiros (tráfego) - abr. a out./2020 <sup>(9)</sup>	1,6	5,0	1,5	0,7	1,1	9,9	5,1	5,4	-	2,8
RMSP - São Paulo, Pinheiros (tráfego) - jan. a dez./2017 <sup>(9)</sup>	1,7	7,2	3,2	1,2	1,6	-	-	-	-	2,2
Paulínia - Jd. Santa terezinha (tráfego) - ago. a nov./2017 <sup>(10)</sup>	0,9	3,0	1,3	0,4	0,8	-	-	-	3,9	1,0
RMSP - São Paulo, Pinheiros (tráfego) - fev. a out./2014 <sup>(11)*</sup>	1,6	7,1	3,1	1,2	1,6	-	-	-	-	-
RMSP - São Paulo, Pinheiros (tráfego) - fev. a ago/2013 <sup>(11)*</sup>	2,9	12,6	5,7	2,8	2,7	-	-	-	-	-
RMSP - São Paulo, Cidade Universitária (tráfego) - jan. a dez//2006 <sup>(12)*</sup>	2,7	11,4	6,6	2,2	4	9,8	8,3	5,9	-	-
EUA - Nova York - Queens -Queens College 2 - 2020*** <sup>(13)</sup>	3,2	9,0	5,2	1,7	1,7	13,0	5,2	6,9	11,7	2,6
EUA - Nova York - Queens -Queens College 2 - 2021*** <sup>(13)</sup>	4,1	14,4	9,1	3,4	3,2	-	-	-	-	-
EUA - Nova York - Queens -Queens College 2 - 2022*** <sup>(13)</sup>	3,2	9,1	7,0	2,8	2,3	-	-	-	-	-
EUA - Nova York - Bronx - Pfizer Lab Site - 2020*** <sup>(13)</sup>	3,8	6,4	3,9	1,7	1,3	10,1	5,4	4,5	8,4	1,9
EUA - Nova York - Bronx - Pfizer Lab Site - 2021*** <sup>(13)</sup>	3,9	7,0	4,3	1,8	1,6	-	-	-	-	-
EUA - Nova York - Bronx - Pfizer Lab Site - 2022*** <sup>(13)</sup>	4,0	6,2	5,6	2,5	1,8	-	-	-	-	-
EUA - California - Los Angeles-North Main Street- 2021*** <sup>(13)</sup>	4,3	13,1	8,3	3,7	2,5	15,7	6,9	6,8	39,8	3,4
EUA - California - Los Angeles-North Main Street- 2022*** <sup>(13)</sup>	5,4	15,2	12,5	4,5	3,8	-	-	-	-	-
França - Paris (tráfego) - 2018 <sup>(14)</sup>	2,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
França - Paris (tráfego) - 2019 <sup>(14)</sup>	1,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
França - Paris (tráfego) - 2020 <sup>(14)</sup>	1,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
França - Bordeaux (tráfego) - 2018 <sup>(14)</sup>	1,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-
França - Bordeaux (tráfego) - 2019 <sup>(14)</sup>	1,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
França - Bordeaux (tráfego) - 2020 <sup>(14)</sup>	1,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Itália - Roma (tráfego) - 2018 <sup>(14)</sup>	1,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Itália - Roma (tráfego) - 2019 <sup>(14)</sup>	1,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Itália - Roma (tráfego) - 2020 <sup>(14)</sup>	1,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-

\*Amostragem 24h – canister de 6L evacuado – pré concentração em resina

\*\*Amostragem contínua – GC/PID

\*\*\*Amostragem 24h – canister pressurizado de 6L – pré concentração criogênica – GC/MS

Observa-se que os resultados obtidos no monitoramento realizados na Ponte dos Remédios, não diferem muito dos observados na maioria das localidades estudadas no Estado de São Paulo.

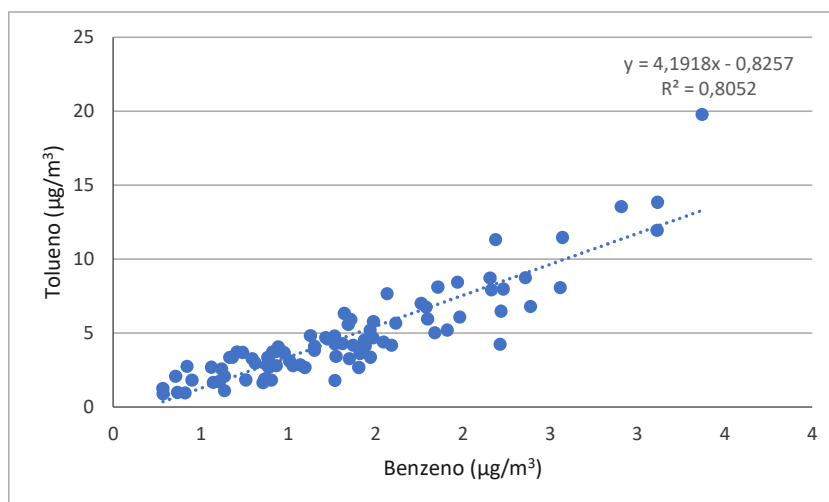
Em comparação aos estudos realizados em outros países, observou-se concentrações médias de COV na estação Ponte dos Remédios são menores do que valores observados nos EUA e semelhantes aos observados em estudos Europeus.

## 5.5 Razões Tolueno/Benzeno

As concentrações dos poluentes em diferentes períodos são distintas, entretanto, é importante verificar o quanto as relações entre estes poluentes se mantêm.

Os **Gráficos 5** apresenta o diagrama de dispersão das concentrações diárias de tolueno em função das concentrações diárias de benzeno, medidas em 2022/23 na estação Ponte dos Remédios.

**Gráfico 5 – Diagrama de dispersão das concentrações diárias de tolueno em função do benzeno, na estação Ponte dos Remédios, em 2022/2023.**



O coeficiente de correlação de Pearson<sup>(15)</sup> obtido para os dados de Marginal Tietê – Ponte dos Remédios ( $r = 0,94$ ) (**Gráfico 6**) mostra uma forte correlação entre as variáveis, sugerindo que os poluentes provavelmente se originam do mesmo tipo de fonte. Neste local, as principais fontes são as emissões de veículos automotores, tanto leves quanto pesados, que trafegam na via ao lado da estação.

Na **Tabela 4**, são apresentadas as médias de benzeno e tolueno e a razão entre estes poluentes em São Paulo e em algumas cidades dos EUA.

Segundo a literatura<sup>(16)</sup>, uma faixa entre 1,5 e 3,0 da razão tolueno/benzeno tem sido usada como indicador de emissões veiculares, com variações atribuídas principalmente a diferentes tipos de veículos e composição de combustível em diferentes regiões. Relações T/B na faixa de 4 a 5 foram encontradas em um estudo realizado em Antuérpia, Bélgica, em área de tráfego intenso<sup>(17)</sup>.

Na estação Ponte dos Remédios, em 2022 e 2023, a razão entre as médias de tolueno e benzeno foi 3,5 e 3,7, respectivamente. Estes valores são da mesma ordem de grandeza dos obtidos nos monitoramentos realizados em outras estações em que as fontes são predominantemente veiculares como Cerqueira César em 2018 e 2019.

**Tabela 4 – Médias anuais de benzeno e tolueno em diferentes localidades e as respectivas razões T/B.**

Local	Concentração ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		
	benzeno	tolueno	T/B
<b>RMSP - São Paulo, Marg. Tietê-Pte dos Remédios (tráfego) - 2022</b>	<b>1,6</b>	<b>5,4</b>	<b>3,5</b>
<b>RMSP - São Paulo, Marg. Tietê-Pte dos Remédios (tráfego) - 2023</b>	<b>1,5</b>	<b>5,7</b>	<b>3,7</b>
RMSP - São Paulo, Cerqueira César (tráfego) - mar. a dez./2018 <sup>(7)</sup>	1,4	5,2	3,7
RMSP - São Paulo, Cerqueira César (tráfego) - jan. a dez./2019 <sup>(7)</sup>	1,2	4,5	3,8
RMSP - Santo André, Capuava (industrial/tráfego) - jan. a nov./2020 <sup>(7)</sup>	3,4	6,0	1,8
RMSP - Santo André, Capuava (industrial/tráfego) - jan. a nov./2021 <sup>(7)</sup>	3,9	5,9	1,5
RMSP - Santo André, Capuava (industrial/tráfego) - monitoramento automático/2019 <sup>(8)**</sup>	2,8	5,0	1,8
São José dos Campos - Vista Verde (industrial) - monitoramento automático/2021 <sup>(8)**</sup>	0,8	3,3	4,1
Cubatão - Centro (industrial/tráfego) - monitoramento automático/2020 <sup>(8)**</sup>	1,2	4,0	3,3
Cubatão - Centro (industrial/tráfego) - monitoramento automático/2021 <sup>(8)**</sup>	1,5	3,6	2,4
RMSP - São Paulo, Pinheiros (tráfego) - abr. a out./2020 <sup>(9)*</sup>	1,6	5,0	3,2
RMSP - São Paulo, Pinheiros (tráfego) - jan. a dez./2017 <sup>(9)*</sup>	1,7	7,2	4,2
Paulínia - Jd. Santa terezinha (tráfego) - ago. a nov./2017 <sup>(10)*</sup>	0,9	3,0	3,3
RMSP - São Paulo, Pinheiros (tráfego) - fev. a out./2014 <sup>(11)*</sup>	1,6	7,1	4,4
RMSP - São Paulo, Pinheiros (tráfego) - fev. a ago/2013 <sup>(11)*</sup>	2,9	12,6	4,3
RMSP - São Paulo, Cidade Universitária (tráfego) - jan. a dez/2006 <sup>(12)*</sup>	2,7	11,4	4,2
EUA - Nova York - Queens -Queens College 2 - 2020*** <sup>(13)</sup>	3,2	9,0	2,8
EUA - Nova York - Queens -Queens College 2 - 2021*** <sup>(13)</sup>	4,1	14,4	3,5
EUA - Nova York - Queens -Queens College 2 - 2022*** <sup>(13)</sup>	3,2	9,1	2,8
EUA - Nova York - Bronx - Pfizer Lab Site - 2020*** <sup>(13)</sup>	3,8	6,4	1,7
EUA - Nova York - Bronx - Pfizer Lab Site - 2021*** <sup>(13)</sup>	3,9	7,0	1,8
EUA - Nova York - Bronx - Pfizer Lab Site - 2022*** <sup>(13)</sup>	4,0	6,2	1,6
EUA - Califórnia - Los Angeles-North Main Street- 2021*** <sup>(13)</sup>	4,3	13,1	3,0
EUA - Califórnia - Los Angeles-North Main Street- 2022*** <sup>(13)</sup>	5,4	15,2	2,8

\*Amostragem 24h - canister de 6L - pressão subatmosférica - preconcentração em resina multiadsorvente - GC/MS

\*\* Amostragem contínua - GC/PID

\*\*\*Amostragem 24h - canister pressurizado de 6L - preconcentração criogênica - GC/MS

Nas diferentes localidades apresentadas na **Tabela 4**, as razões tolueno/benzeno variaram de 1,5 a 4,4, com o menor valor registrado em Santo André - Capuava, em 2021 e os maiores em Pinheiros, em 2014, respectivamente.

Conforme apontado por Gelencsér et al.<sup>(18)</sup>, no ciclo fotoquímico, as concentrações de tolueno e benzeno são reduzidas através de sua reação com radicais OH, entretanto, a reatividade do tolueno é aproximadamente 5 vezes maior que a do benzeno. Portanto, espera-se uma redução da razão T/B ao se distanciar das fontes, devido à rápida degradação fotoquímica do tolueno.

## 6 Conclusões

Com relação ao monitoramento de COVs realizado, 2022 e 2023, na estação Marginal Tietê – Ponte dos Remédios, pode-se concluir que:

- as concentrações médias anuais de COVs foram semelhantes, nos dois anos monitorados, destacando-se, entre os compostos analisados, os valores mais elevados dos alcanos de baixa massa molecular (C4 a C5) e os compostos aromáticos (BTEX). Estas classes de compostos responderam por cerca de 75% da concentração total de COVs analisados na estação Marginal Tietê – Ponte dos Remédios;
- os diagramas de distribuição dos dados (boxplots) mostraram uma distribuição simétrica, nos dois anos monitorados, e uma variabilidade maior em 2023 em relação à 2022. Os compostos que apresentaram maior variabilidade foram iso-pentano, n-pentano, seguidos do tolueno;
- as concentrações médias anuais de benzeno obtidas foram inferiores ao valor de referência de  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  adotado pela União Europeia, tanto em 2022 quanto 2023;
- os resultados obtidos no monitoramento realizados na Ponte dos Remédios, não diferem muito dos observados na maioria das localidades estudadas no Estado de São Paulo;
- as concentrações de COVs, em comparação aos estudos realizados em outros países, foram menores em relação aos valores observados nos EUA e semelhantes aos observados em estudos europeus;
- a análise das relações entre tolueno e benzeno mostra que as razões entre as médias anuais na estação monitorada, em 2022 e 2023, foram 3,5 e 3,7, respectivamente. Estes valores são da mesma ordem de grandeza dos obtidos nos monitoramentos realizados em outras estações em que as fontes são predominantemente veiculares, como Cerqueira César, em 2018 e 2019;
- da mesma forma, o coeficiente de correlação de Pearson, 0,94, mostra uma forte correlação entre as variáveis tolueno e benzeno indicando que estes compostos são provenientes da mesma fonte, no caso o tráfego de veículos.

## 7 Referências Bibliográficas

1. UNITED STATES, Environmental Protection Agency (USEPA). **Definition of VOC and ROG, Last Revised January 2009.** Disponível em: [https://www.arb.ca.gov/ei/speciate/voc\\_rog\\_dfn\\_11\\_04.pdf](https://www.arb.ca.gov/ei/speciate/voc_rog_dfn_11_04.pdf).
2. SÃO PAULO, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). **Classificação Preliminar da Representatividade Espacial das Estações de Monitoramento da Qualidade do Ar da CETESB no Estado de São Paulo. 2013** Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/ar/wp-content/uploads/sites/28/2013/12/relatorio-representatividade-estacoes-2013.pdf>
3. UNITED STATES, Environmental Protection Agency (USEPA). Air Method, Toxic Organics-15 (TO-15): Compendium of Methods for the Determination of Toxic Organic Compounds in Ambient Air, Second Edition: Determination of Volatile Organic Compounds (VOCs) in Air Collected in Specially Prepared Canisters and Analysed by Gas Chromatography/Mass Spectrometry. Disponível em: <https://www3.epa.gov/ttnamti1/files/ambient/airtox/to-15r.pdf>
4. SÃO PAULO, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). SQ PR/LB-029 “**Validação de Métodos Analíticos EAAQ**”, 2007
5. CHRISTOFARO, C.; LEÃO, M.M.D. **Tratamento de Dados Censurados em Estudos Ambientais.** Química Nova, vol. 37, nº1, 104-110, 2014. Disponível em: <http://static.sites.sbq.org.br/quimicanova.sbq.org.br/pdf/v37n1a19.pdf>
6. EUROPA. **Directiva 2008/50/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 21 de maio de 2008, relativa à qualidade do ar ambiente e a um ar mais limpo na Europa.** Disponível em <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/?uri=CELEX:32008L0050>. Acesso em 08 nov.2021
7. SÃO PAULO, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). **Estudo dos Compostos Orgânicos Voláteis (COVs) na Atmosfera dos Municípios de São Paulo (Cerqueira César) e Santo André (Capuava) – SP.** Disponível em: [https://cetesb.sp.gov.br/ar/wp-content/uploads/sites/28/2022/11/Relatorio-COVs\\_2022.pdf](https://cetesb.sp.gov.br/ar/wp-content/uploads/sites/28/2022/11/Relatorio-COVs_2022.pdf)
8. SÃO PAULO, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). **Qualidade do Ar no Estado de São Paulo, 2020.** Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/ar/wp-content/uploads/sites/28/2021/05/Relatorio-de-Qualidade-do-Ar-no-Estado-de-Sao-Paulo-2020.pdf>
9. SÃO PAULO, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). **Estudo dos Compostos Orgânicos Voláteis (COVs) na Atmosfera do Município de São Paulo (Pinheiros) – SP.** Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/ar/wp-content/uploads/sites/28/2022/05/Estudo-dos-Compostos-Organicos-Volateis-COV-na-atmosfera-do-municipio-de-Sao-Paulo-Pinheiros-SP.pdf>
10. SÃO PAULO, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). **Estudo dos Compostos Orgânicos Voláteis (COVs) na Atmosfera do Município de Paulínia – SP.** Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/ar/wp-content/uploads/sites/28/2021/04/Estudo-dos-compostos-organicos-volateis-COVs-na-atmosfera-do-municipio-de-Paulinia-SP.pdf>
11. SÃO PAULO, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). **Avaliação de Benzeno; Tolueno; o-Xileno; m,p-Xileno e Etilbenzeno na Atmosfera da Estação de Monitoramento de Pinheiros - Município de São Paulo – SP 2013 – 2014.** Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/ar/wp-content/uploads/sites/28/2013/12/Relatorio-BTEX.pdf>



12. Alvim, D. S.; Gatti, L. V.; Correa, S. M.; Pretto, A.; Rossatti, C. S.; Orlando, J.P.. **Compostos Orgânicos Voláteis: principais precursores de ozônio na Cidade de São Paulo**. Ciência e Natura, Santa Maria, v.36 Ed. Especial II, 2014, p.434-444.
13. UNITED STATES, **Environmental Protection Agency (USEPA). Pre-Generated Data Files – Table of Annual Summary Data**. Disponível em: [https://aqs.epa.gov/aqsweb/airdata/download\\_files.html#Annual](https://aqs.epa.gov/aqsweb/airdata/download_files.html#Annual).
14. EUROPA, European Environment Agency. **Air Quality Statistics**. Disponível em: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/dashboards/air-quality-statistics>. Acesso em: 08 nov. 2021.
15. Mukaka, M. M., Statistics corner: **A Guide to Appropriate Use of Correlation Coefficient in Medical Research**. Malawi Med J. 24 (3): 69-71, 2012
16. Miller, L.; Xu, X.; Wheeler, A.; Atari, D. O.; Grgicak-Mammion, A.; & Liginah, I.; **Spatial Variability and Application of Ratios Between BTEX in two Canadian Cities**. The Scientific World Journal, 11, 2536-2549, 2011.
17. Buczynska, A.J.; Stranger, M.; Godoi, A.F.L.; Kontozova-Deutsche, V.; Bencs, L.; Naveau, I.; Roekens, E.; Grieken, R. V. **Atmospheric BTEX-Concentrations in an Area with Intensive Street Traffic**. Atmospheric Environment, 43, 311-318, 2009
18. Gelencsér, A.; Siszler, K.; Hlavay J. **Toluene-benzene Concentration Ratio as a Tool for Characterizing the Distance from Vehicular Emission Sources**. Environmental Science and Technology, 31 (10): 2869-2872, 1997












Secretaria de  **SÃO PAULO**  
**Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística** GOVERNO DO ESTADO

Acompanhe as redes sociais da CETESB:

-  Site: [cetesb.sp.gov.br](http://cetesb.sp.gov.br)
-  Facebook: [facebook.com/cetesbsp](https://facebook.com/cetesbsp)
-  LinkedIn: [linkedin.com/company/cetesb](https://linkedin.com/company/cetesb)
-  Instagram: [instagram.com/cetesbsp](https://instagram.com/cetesbsp)
-  SoundCloud: [soundcloud.com/cetesbsp](https://soundcloud.com/cetesbsp)