



ESTUDO DOS COMPOSTOS ORGÂNICOS  
VOLÁTEIS (COVs) NA ATMOSFERA DO  
MUNICÍPIO DE SÃO PAULO (PINHEIROS) - SP

---

2022



| Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente

Governo do Estado de São Paulo  
João Doria - Governador do Estado de São Paulo

Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente  
Marcos Penido - Secretário de Estado

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo  
Patrícia Iglecias - Diretora-Presidente

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

Diretoria de Gestão Corporativa  
Aruntho Savastano Neto - Diretor

Diretoria de Controle e Licenciamento Ambiental  
Gláucio Attorre Penna - Diretor

Diretoria de Avaliação de Impacto Ambiental  
Domenico Tremaroli - Diretor

Diretoria de Engenharia e Qualidade Ambiental  
Carlos Roberto dos Santos - Diretor

---

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO  
SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA E MEIO AMBIENTE DO ESTADO DE SÃO PAULO



ESTUDO DOS COMPOSTOS ORGÂNICOS  
VOLÁTEIS (COVs) NA ATMOSFERA DO  
MUNICÍPIO DE SÃO PAULO (PINHEIROS) - SP

CETESB COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO

2022

# Dados Internacionais de Catalogação

(CETESB – Biblioteca, SP, Brasil)

C418e      CETESB (São Paulo)  
Estudo dos compostos orgânicos voláteis (COVs) na atmosfera do município de São Paulo (Pinheiros) - SP [recurso eletrônico] / CETESB ; Elaboração Cristiane F. Fernandes Lopes (Coordenação técnica), Maria Cristina Neuscheffer de Oliveira ; Equipe de trabalho Daniele P.R. de Carvalho ... [et al.] ; Colaboração Claudio Darwin Alonso, Yoshio Yanagi. - - São Paulo : CETESB, 2022.  
1 arquivo de texto (25 p.) : il. color., PDF ; 1,4 MB

Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/ar/publicacoes-relatorios/>>.  
ISBN 978-65-5577-032-2

1. Ar – qualidade – controle 2. Ar – poluição 3. Compostos orgânicos voláteis 4. Pinheiros (SP) I. Título.

CDD (21.ed. Esp.) 363.739 263 816 1      CDU (2.ed. Port.) 502.175:614.71/.72 (815.6)  
628.53 816 1      614.71:547-3 (815.6)

Catalogação na fonte: Margot Terada - CRB 8.4422

Direitos reservados de distribuição e comercialização.  
Permitida a reprodução desde que citada a fonte.

© CETESB 2022.  
Av. Prof. Frederico Hermann Jr., 345  
Pinheiros – SP – Brasil – CEP 05459900

## **Ficha Técnica**

### **Diretoria de Engenharia e Qualidade Ambiental**

Carlos Roberto dos Santos

### **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**)

Maria Cristina Neuscheffer de Oliveira

### **Equipe de Trabalho**

Daniele P. R. de Carvalho

Giacomo C. Grizzo Cuoco

Graziela Mônaco Locchi

Jesuino Romano

Maria Cristina N. de Oliveira

Nelson Alamo Filho

Sheila de Castro

Viviane A. de Oliveira Ferreira

### **Colaboração**

Cláudio Darwin Alonso

Yoshio Yanagi

### **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>



## RESUMO

Dentre os poluentes presentes na atmosfera, além dos regulamentados na legislação, como o 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, devido ao papel que desempenham 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.

As concentrações de 28 compostos orgânicos voláteis, na sua maioria associados às emissões veiculares, foram medidas na estação Pinheiros, pertencente à rede de avaliação da qualidade do ar da CETESB, em 2017 e, para comparação dos resultados, entre abril e outubro de 2020, para avaliar o impacto da diminuição do tráfego urbano em função da pandemia de COVID-19, relativamente a estes compostos. As amostragens foram realizadas a cada seis dias durante 24 horas.

Os compostos que apresentaram concentrações mais elevadas foram: tolueno, n-hexano, m,p-xileno e benzeno, sendo que as concentrações obtidas em 2020 foram menores que as de 2017, conforme o esperado, devido à diminuição da circulação de veículos ocorrida em função da pandemia. As relações tolueno/benzeno de 3,2 em 2020 e 4,2 em 2017, em Pinheiros, indicaram que as fontes de emissão estão próximas do local de amostragem, pois as concentrações de tolueno tendem a se degradar mais rapidamente do que as de benzeno à medida que aumenta a distância em relação às fontes, resultando em razões T/B menores.

A forte correlação entre as concentrações de tolueno e benzeno ( $R = 0,85$ ) sugere que, nesse local, esses poluentes provavelmente se originam do mesmo tipo de fonte.

A média anual de benzeno na estação Pinheiros em 2017, de  $1,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , foi inferior ao valor de referência indicado pela Comunidade Europeia -  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (média anual). A média de 2020 também foi menor que este valor, embora o monitoramento não tenha completado um ano de dados.

Palavras chave: Compostos Orgânicos Voláteis, Poluição do Ar, Pinheiros

## Lista de Ilustrações e Tabelas

### Figura

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 - Localização da estação de monitoramento da qualidade do ar em Pinheiros..... | 10 |
|---|----|

### Gráficos

|  |    |
|--|----|
| Gráfico 1 – Concentrações médias anuais de COVs, em 2017, na estação Pinheiros. ....   | 13 |
| Gráfico 2 – Concentrações médias anuais de COVs, de abril a outubro de 2020, na estação Pinheiros.....                                 | 14 |
| Gráfico 3 – Concentrações médias de COVs de abril a outubro de 2017 e 2020, na estação Pinheiros.....                                  | 15 |
| Gráfico 4 – Boxplot das concentrações de COVs medidas de abril a outubro em 2017 e 2020.....   | 16 |
| Gráfico 5 – Concentrações de benzeno de janeiro a dezembro de 2017 e de abril a outubro de 2020.....                                   | 17 |
| Gráfico 5 – Diagrama de dispersão das concentrações diárias de tolueno em função do benzeno, na estação Pinheiros, em 2017 e 2020..... | 19 |

### Tabelas

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1 - Compostos orgânicos voláteis analisados na campanha de monitoramento de COVs em Pinheiros.....   | 12 |
| Tabela 2 - Valores médios, mínimos e máximos das concentrações de COVs obtidas de janeiro a dezembro de 2017, na estação Pinheiros, Município de São Paulo..... | 13 |
| Tabela 3 - Valores médios, mínimos e máximos das concentrações de COVs obtidas de abril a outubro de 2020, na estação Pinheiros, Município de São Paulo.....    | 14 |
| Tabela 4 - Concentrações de COVs obtidas em 2017 e em 2020, no período de abril a outubro, na estação Pinheiros, Município de São Paulo.....                    | 15 |
| Tabela 5 – Médias anuais de COVs obtidas em diferentes localidades.....   | 18 |
| Tabela 6 – Médias de COVs ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) obtidas em Paulínia e em diferentes locais do Município de São Paulo.....                                | 18 |
| Tabela 7 – Médias anuais de benzeno e tolueno em diferentes localidades e as respectivas razões T/B.....  | 20 |

## Lista de Abreviaturas e Siglas

|        |  |
|--------|--|
| B      | benzeno  |
| CETESB | Companhia Ambiental do Estado de São Paulo                             |
| COV    | compostos orgânicos voláteis   |
| EUA    | Estados Unidos da América  |
| GC/MS  | cromatografia Gasosa acoplada ao detector por espectrometria de massas |
| GC/PID | cromatografia gasosa com detector de fotoionização                     |
| He     | hélio  |
| LD     | limite de detecção   |
| NIST   | Instituto Nacional de Padrões e Tecnologia                             |
| OH     | radical hidroxila  |
| OMS    | Organização Mundial da Saúde   |
| T      | tolueno  |
| UE     | União Europeia   |
| USEPA  | Agência Ambiental Americana  |

## Lista de Símbolos

|                   |                             |
|-------------------|-----------------------------|
| °C                | graus Celcius               |
| eV                | elétron-volt                |
| L                 | litros                      |
| L/min             | litros por minuto           |
| m                 | metro                       |
| mm                | milímetro                   |
| m/z               | massa por carga             |
| mL/min            | mililitros por minuto       |
| ppb               | partes por bilhão           |
| ppm               | partes por milhão           |
| µg                | micrograma                  |
| µm                | micrometro                  |
| µg/m <sup>3</sup> | micrograma por metro cúbico |
| km                | quilômetro                  |
| R                 | coeficiente de correlação   |
| %                 | porcentagem                 |

## Sumário

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 1   | Introdução.....                                   | 9  |
| 2   | Objetivo.....                                     | 9  |
| 3   | Amostragem e Análise.....                         | 9  |
| 3.1 | Local de Amostragem .....                         | 9  |
| 3.2 | Metodologia de Amostragem e Análise.....          | 10 |
| 4   | Compostos Analisados .....                        | 11 |
| 5   | Aspectos Meteorológicos.....                      | 12 |
| 6   | Resultados e Discussão .....                      | 12 |
| 6.1 | Resultados de COVs.....                           | 12 |
| 6.2 | Valores de Referência para a Qualidade do Ar..... | 17 |
| 6.3 | Outros estudos sobre COVs na atmosfera .....      | 17 |
| 6.4 | Razões Tolueno/Benzeno .....                      | 19 |
| 7   | Conclusões .....                                  | 20 |
| 8   | Referências Bibliográficas .....                  | 22 |



## 1 Introdução

Dentre os poluentes presentes na atmosfera, além dos regulamentados na legislação, como o 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, devido ao papel que desempenham 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 de COV adotada neste relatório foi a da Agência Ambiental dos Estados Unidos (USEPA), 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 realizados em 2017 e em 2020, na estação de Pinheiros da CETESB, localizada no município de São Paulo.

## 2 Objetivo

Os principais objetivos para o monitoramento de COVs em Pinheiros foram:

- identificar e quantificar os compostos orgânicos na atmosfera, associados às emissões de veículos automotores;
- 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; e
- comparar os resultados do monitoramento realizado em 2017 com os resultados obtidos em 2020, para avaliar em que medida as restrições decorrentes da pandemia de COVID-19 se refletiram na qualidade do ar, relativamente a estes compostos.

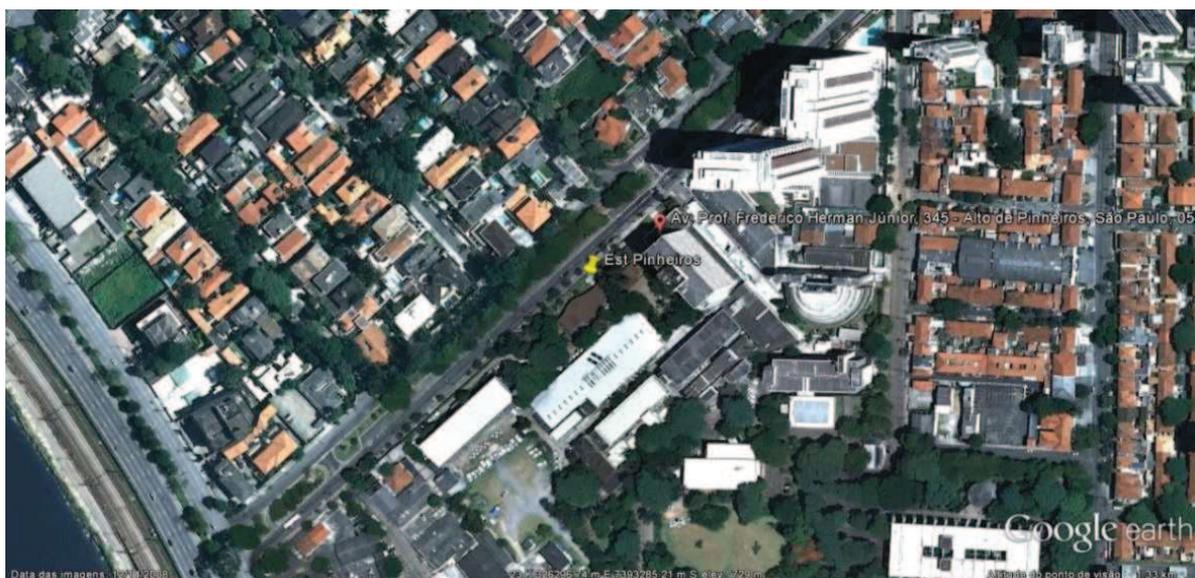
## 3 Amostragem e Análise

### 3.1 Local de Amostragem

O monitoramento de COVs na estação Pinheiros da CETESB foi realizado em 2017, de 13 de janeiro até 21 de dezembro, totalizando 53 amostras, e em 2020, de 8 de abril a 14 de outubro, totalizando 24 amostras. As amostragens foram realizadas a cada 6 dias, por períodos de 24 horas.

A estação Pinheiros localiza-se a 7 metros da Av. Prof. Frederico Herman Júnior, 345, no bairro de Pinheiros, município de São Paulo - Coordenadas UTM (Sirgas 2000): 23K 326287 W – 7393293 N. É caracterizada como estação de microescala, que sofre o impacto das emissões do tráfego da via mais próxima<sup>(2)</sup> As concentrações detectadas na estação Pinheiros são influenciadas pelo tráfego veicular tanto da via ao lado da estação como de vias no entorno, como a Marginal Pinheiros (220m), conforme se observa na **Figura 1**.

**Figura 1 - Localização da estação de monitoramento da qualidade do ar em Pinheiros.**



### 3.2 Metodologia de Amostragem e Análise

A metodologia de amostragem e análise dos compostos orgânicos voláteis baseou-se no método TO-15, da Agência Ambiental dos EUA (USEPA), de 1999<sup>(3)</sup>.

O ar atmosférico foi coletado em um recipiente de aço inox, denominado canister, com capacidade de 6 L, cuja parede interna é eletropolida e tratada para deixá-la inerte. O dispositivo foi previamente limpo em um sistema especial de limpeza.

Neste estudo, foi utilizado o método de amostragem passiva, na qual o canister é previamente evacuado e a amostra de ar é aspirada através de um restritor de fluxo, durante um período de tempo pré-estabelecido. Para uma coleta contínua de 24 horas, a vazão foi de 3,4 mL/min. Após a amostragem, a válvula do canister foi fechada e o dispositivo encaminhado ao laboratório para análise.

O sistema analítico utilizado incluiu dessorvedor térmico TD Unity 2 e uma unidade amostradora de canister CIA Advantage, ambos da Markes, acoplado a um cromatógrafo a gás, com detector de espectrometria de massas (CG/MS), da Thermo Scientific. O Unity 2 oferece o recurso de resfriamento pelo efeito Peltier, podendo chegar a  $-30^{\circ}\text{C}$ , possibilitando o uso de multiadsorventes a sub-temperaturas para otimizar o processo de retenção/concentração dos compostos mais voláteis.

Após o término do processo de transferência/concentração, foi realizada a purga reversa, com o gás de arraste (He), para a remoção da água. Em seguida, a

amostra foi termicamente dessorvida com aquecimento rápido do *trap* a 300°C e os analitos dessorvidos foram carregados para a entrada da coluna analítica em uma banda de vapor bem estreita, garantindo assim sensibilidade adequada.

A amostra foi analisada em um cromatógrafo a gás Thermo Trace GC Ultra, acoplado a um espectrômetro de massas DSQII. A separação dos compostos foi realizada utilizando-se coluna capilar Thermo TR-1, com 60 m x 0,32 mm ID x 1,0 µm espessura do filme. Espectrômetro de massas quadrupolo operando com 70 eV, temperatura na fonte de íons de 200°C, temperatura na linha de transferência de 275°C, faixa de scan de 30-250 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 NIST, 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, 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-metil benzeno, 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. Para a quantificação empregou-se o método da regressão linear.

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

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

## 4 Compostos Analisados

Neste estudo foram analisados alguns dos compostos oriundos da queima de combustíveis usados em veículos automotores.

A **Tabela 1** apresenta os 28 compostos orgânicos voláteis analisados na campanha realizada na estação Pinheiros.

**Tabela 1 - Compostos orgânicos voláteis analisados nas campanhas de monitoramento de COVs em Pinheiros.**

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

Fonte: CETESB (2021)

## 5 Aspectos Meteorológicos

As concentrações dos poluentes na atmosfera sofrem influência das condições meteorológicas dominantes no período. Parâmetros como direção e velocidade do vento, altura da camada de inversão térmica, umidade, e outros, são importantes nas condições locais que determinam os níveis medidos de concentração dos poluentes.

Dentre os fatores meteorológicos que determinam o comportamento dos poluentes na atmosfera, a precipitação pluviométrica é um dos que permite verificar qualitativamente se a atmosfera esteve mais ou menos estável, favorecendo ou não a dispersão desses poluentes. Outra variável meteorológica importante para a dispersão de poluentes é a ventilação.

Os dias desfavoráveis à dispersão dos poluentes na atmosfera em 2017 se concentraram nos meses de maio a setembro, somando 23 dias<sup>(5)</sup>. Em 2020, houve 30 dias com condições meteorológicas desfavoráveis, sendo dois dias no final de abril e 28 dias no período de maio a setembro<sup>(6)</sup>.

## 6 Resultados e Discussão

### 6.1 Resultados de COVs

Devido às limitações inerentes aos métodos analíticos, é frequente que os dados de COVs estejam abaixo de um determinado limite de detecção, interferindo em quase todo tipo de análise estatística, como média, desvio padrão, correlações, análises de regressão e tendências, etc. 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. 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>(7)</sup>

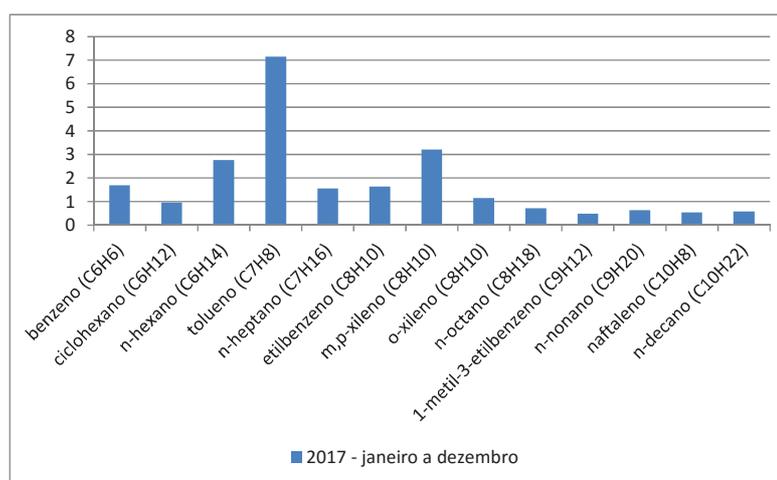
Neste estudo, para concentrações abaixo do limite de detecção (LD), usou-se metade do limite (LD/2) no cálculo das médias.

As concentrações dos COVs obtidos em Pinheiros, em 2017, cujos resultados foram superiores aos respectivos limites de detecção em mais de 50% das amostras, estão apresentadas na **Tabela 2** e para melhor visualização também no **Gráfico 1**.

**Tabela 2 - Valores médios, mínimos e máximos das concentrações de COVs obtidas de janeiro a dezembro de 2017, na estação Pinheiros, município de São Paulo.**

| $\mu\text{g}/\text{m}^3$                                | média | mínimo | máximo |
|---|-------|--------|--------|
| benzeno (C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> )                | 1,70  | 0,44   | 4,77   |
| ciclohexano (C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> )           | 0,96  | 0,21   | 3,56   |
| n-hexano (C <sub>6</sub> H <sub>14</sub> )              | 2,77  | 0,82   | 8,46   |
| tolueno (C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> )                | 7,15  | 2,10   | 21,68  |
| n-heptano (C <sub>7</sub> H <sub>16</sub> )             | 1,55  | 0,42   | 5,17   |
| etilbenzeno (C <sub>8</sub> H <sub>10</sub> )           | 1,63  | 0,39   | 4,05   |
| m,p-xileno (C <sub>8</sub> H <sub>10</sub> )            | 3,21  | 0,94   | 7,29   |
| o-xileno (C <sub>8</sub> H <sub>10</sub> )              | 1,15  | 0,34   | 2,60   |
| n-octano (C <sub>8</sub> H <sub>18</sub> )              | 0,72  | 0,06   | 1,86   |
| 1-metil-3-etilbenzeno (C <sub>9</sub> H <sub>12</sub> ) | 0,49  | 0,11   | 1,97   |
| n-nonano (C <sub>9</sub> H <sub>20</sub> )              | 0,63  | 0,08   | 1,57   |
| naftaleno (C <sub>10</sub> H <sub>8</sub> )             | 0,54  | 0,23   | 1,52   |
| n-decano (C <sub>10</sub> H <sub>22</sub> )             | 0,58  | 0,16   | 2,87   |

**Gráfico 1 – Concentrações médias anuais de COVs, em 2017, na estação Pinheiros.**



No **Gráfico 1**, destacam-se tolueno seguido de m,p-xileno e n-hexano, com as maiores concentrações. Não são apresentados no gráfico, por se mostrarem em concentrações abaixo do limite de detecção em mais de 50% das amostras, o 1,3-butadieno, 2,3-dimetilpentano, isopropilbenzeno, 2,3-dimetilheptano, 1,2,3-

trimetilbenzeno, 1,3,5-trimetilbenzeno, p-isopropiltolueno, butil-ciclohexano e n-undecano.

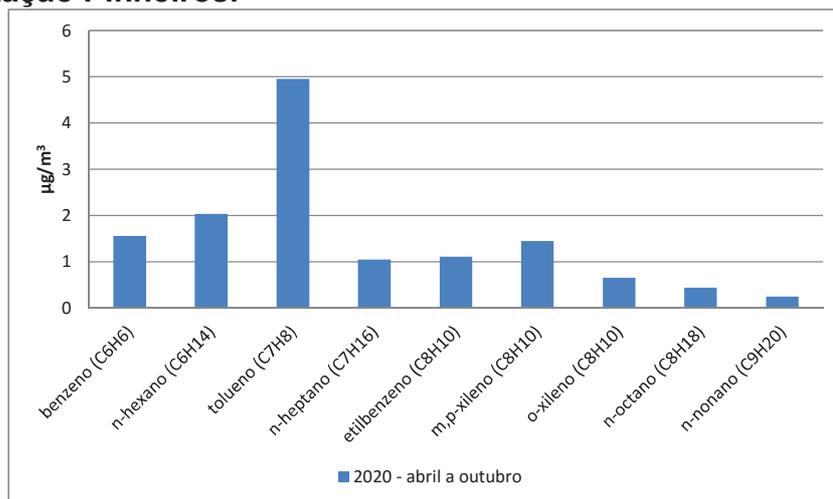
Em função das medidas de restrições decorrentes da pandemia de COVID-19 em 2020, foram novamente realizadas amostragens de COVs na estação Pinheiros, para avaliar como o impacto da diminuição do tráfego urbano se refletiu na qualidade do ar, relativamente a estes compostos.

As concentrações dos COVs obtidos de abril a outubro de 2020, cujos resultados foram superiores aos respectivos limites de detecção em mais de 50% das amostras, estão apresentadas na **Tabela 3** e para melhor visualização também no **Gráfico 2**.

**Tabela 3 - Valores médios, mínimos e máximos das concentrações de COVs obtidas de abril a outubro de 2020, na estação Pinheiros, município de São Paulo.**

| $\mu\text{g}/\text{m}^3$                  | média | mínimo | máximo |
|---|-------|--------|--------|
| benzeno ( $\text{C}_6\text{H}_6$ )        | 1,55  | 0,14   | 3,61   |
| n-hexano ( $\text{C}_6\text{H}_{14}$ )    | 2,04  | 0,05   | 6,74   |
| tolueno ( $\text{C}_7\text{H}_8$ )        | 4,95  | 0,44   | 17,77  |
| n-heptano ( $\text{C}_7\text{H}_{16}$ )   | 1,05  | 0,03   | 2,97   |
| etilbenzeno ( $\text{C}_8\text{H}_{10}$ ) | 1,11  | 0,03   | 2,92   |
| m,p-xileno ( $\text{C}_8\text{H}_{10}$ )  | 1,45  | 0,04   | 6,08   |
| o-xileno ( $\text{C}_8\text{H}_{10}$ )    | 0,65  | 0,03   | 2,36   |
| n-octano ( $\text{C}_8\text{H}_{18}$ )    | 0,44  | 0,08   | 1,22   |
| n-nonano ( $\text{C}_9\text{H}_{20}$ )    | 0,25  | 0,03   | 2,18   |

**Gráfico 2 – Concentrações médias anuais de COVs, de abril a outubro de 2020, na estação Pinheiros.**



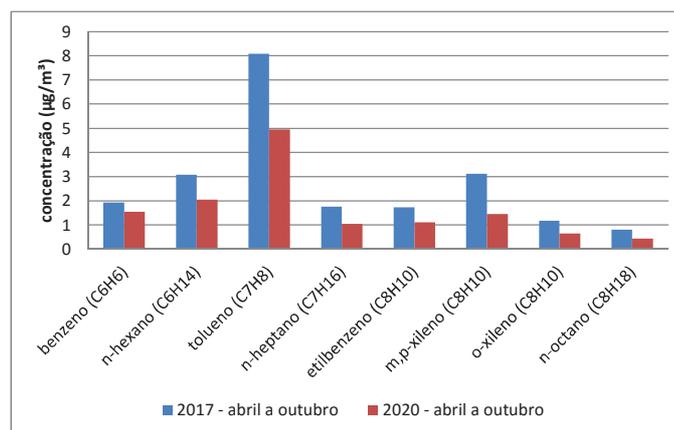
Observa-se que em 2020 os compostos que apresentaram as maiores concentrações foram tolueno, n-hexano e benzeno. Com concentrações abaixo do limite de detecção em mais de 50% das amostras, estiveram o cis-2-buteno, isopreno, trans-2-penteno, iso-hexano, isooctano, isopropil-benzeno, 1-metil-3-etilbenzeno, 2,3-dimetil-heptano, 1,2,3-trimetil-benzeno, 1,2,4-trimetil-benzeno, 1,3,5-trimetilbenzeno, p-isopropil-tolueno, n-decano e n-undecano.

Visando comparar os resultados de 2017 com os de 2020, as médias de concentração de COVs obtidas, no período de abril a outubro de cada ano, são apresentados na **Tabela 4** e para melhor visualização no **Gráfico 3**.

**Tabela 4 - Concentrações de COVs obtidas em 2017 e em 2020, no período de abril a outubro, na estação Pinheiros, município de São Paulo.**

| ABRIL A OUTUBRO                           |      |      |
|---|------|------|
| $\mu\text{g}/\text{m}^3$                  | 2017 | 2020 |
| benzeno ( $\text{C}_6\text{H}_6$ )        | 1,93 | 1,55 |
| n-hexano ( $\text{C}_6\text{H}_{14}$ )    | 3,08 | 2,04 |
| tolueno ( $\text{C}_7\text{H}_8$ )        | 8,08 | 4,95 |
| n-heptano ( $\text{C}_7\text{H}_{16}$ )   | 1,76 | 1,05 |
| etilbenzeno ( $\text{C}_8\text{H}_{10}$ ) | 1,73 | 1,11 |
| m,p-xileno ( $\text{C}_8\text{H}_{10}$ )  | 3,11 | 1,45 |
| o-xileno ( $\text{C}_8\text{H}_{10}$ )    | 1,18 | 0,65 |
| n-octano ( $\text{C}_8\text{H}_{18}$ )    | 0,80 | 0,44 |

**Gráfico 3 – Concentrações médias de COVs de abril a outubro de 2017 e 2020, na estação Pinheiros.**



Observa-se que os perfis são semelhantes e que as concentrações detectadas em 2020 foram menores que as de 2017, conforme esperado, em função da pandemia de COVID-19 e da consequente diminuição da circulação de veículos automotores. Também neste período destacam-se os valores mais elevados de tolueno. Ressalta-se que o inverno de 2017 pode ser considerado um dos mais favoráveis à dispersão dos poluentes nos últimos 10 anos. Mesmo assim, com meteorologia menos favorável, em 2020 foram observados os menores valores.

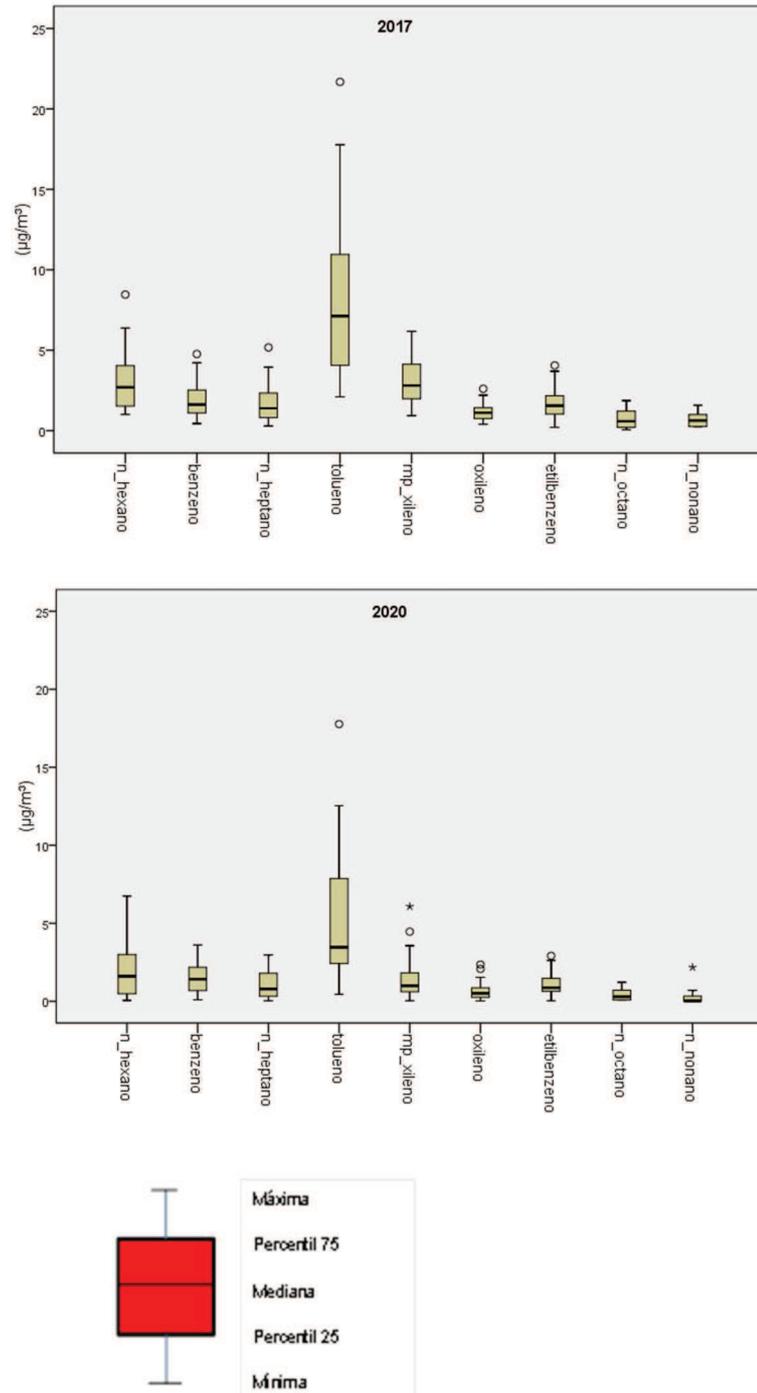
Para avaliar os impactos à saúde e o potencial de formação de ozônio, devem ser consideradas as características dos componentes além de suas concentrações.

O **Gráfico 4** é um boxplot, diagrama que nos fornece uma análise visual da posição, dispersão, simetria, e valores discrepantes (outliers) do conjunto de dados. Neste gráfico, são apresentadas as distribuições relativas aos COVs medidos no período de abril a outubro de 2017 e 2020.

De maneira geral, os dados de 2017 apresentam uma distribuição mais simétrica do que os de 2020, com as linhas das medianas mais próximas ao centro.

A diferença entre o terceiro quartil e o primeiro quartil (tamanho da caixa), representa a dispersão dos dados. Para medir a variabilidade dos dados, este intervalo é uma estatística mais robusta do que a amplitude (diferença entre valor máximo e mínimo), pois não sofre a influência de outliers. Tanto em 2017 como em 2020, tolueno e n-hexano foram os compostos que apresentaram maior variabilidade. A variabilidade do m, p-xileno foi maior em 2017 do que em 2020.

**Gráfico 4 – Boxplot das concentrações de COVs medidas de abril a outubro de 2017 e 2020.**



## 6.2 Valores de Referência para a Qualidade do Ar

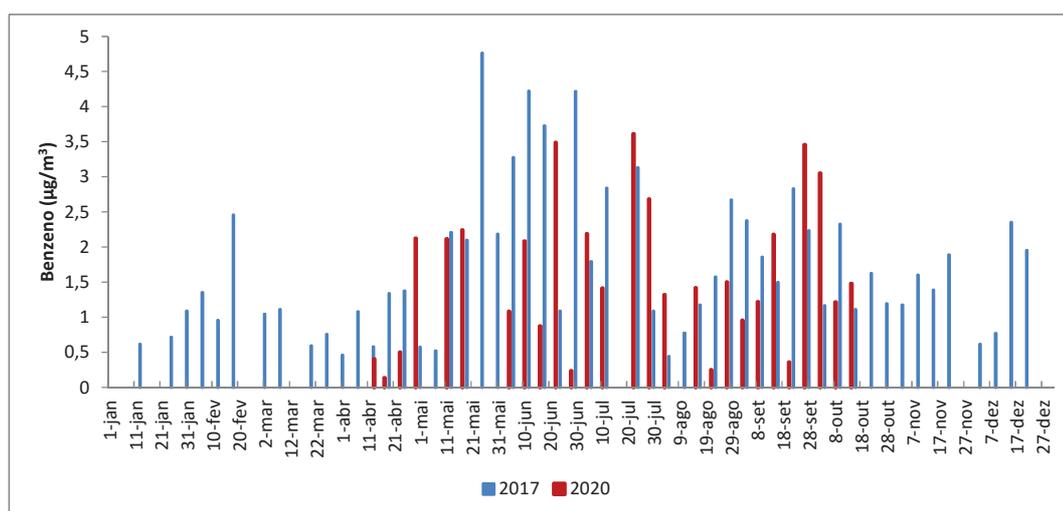
Embora o principal objetivo deste estudo seja o entendimento do comportamento dos COVs enquanto precursores do ozônio, informações disponíveis na literatura relacionadas a efeitos a saúde indicam limites máximos aceitáveis para benzeno e tolueno.

A União Europeia adota para o benzeno o valor de referência de  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  - média anual<sup>(8)</sup>. Já para o tolueno, a Organização Mundial da Saúde indica como valor-guia para a população  $260 \mu\text{g}/\text{m}^3$  - média semanal<sup>(9, 10)</sup>.

Na legislação brasileira não existem padrões de referência para os compostos orgânicos voláteis.

As concentrações de benzeno medidas na estação Pinheiros foram inferiores ao valor de referência durante todo o período de monitoramento, conforme se observa no **Gráfico 5**.

**Gráfico 5 – Concentrações de benzeno de janeiro a dezembro de 2017 e de abril a outubro de 2020.**



A concentração média de benzeno, de janeiro a dezembro de 2017, foi  $1,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , com valor máximo de  $4,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$  em 25 de maio. Em 2020, a média de abril a outubro foi de  $1,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , com valor máximo de  $3,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , em 22 de julho.

Em 2020, apesar de o monitoramento não ter completado um ano, os valores observados no período de medição indicam que a média anual deve se encontrar abaixo do valor de referência adotado pela União Europeia. Isto por que os meses amostrados são meses em que a meteorologia é historicamente mais desfavorável à dispersão de poluentes. Por consequência, concentrações observadas são provavelmente as mais altas do ano.

## 6.3 Outros estudos sobre COVs na atmosfera

Na **Tabela 5**, são apresentadas as médias anuais de alguns compostos orgânicos voláteis considerados neste estudo, acrescidos de dados de benzeno e tolueno medidos na rede automática de monitoramento, na estação Santo André – Capuava, e em duas estações localizadas no município de São José dos Campos<sup>(5, 6)</sup>.

Também são apresentadas as médias anuais de benzeno, tolueno, m, p-xileno, o-xileno e etilbenzeno medidos em algumas cidades dos EUA<sup>(11)</sup>, bem como resultados de benzeno em cidades da Europa<sup>(12)</sup> em 2017 e 2020.

**Tabela 5 – Médias anuais de COVs obtidas em diferentes localidades.**

| Local   | Concentração (µg/m <sup>3</sup> ) |         |            |          |             |
|---|-----------------------------------|---------|------------|----------|-------------|
|   | benzeno                           | tolueno | m,p-xileno | o-xileno | etilbenzeno |
| São Paulo, Pinheiros (tráfego) - abr. a out./2020*                      | 1,5                               | 5,0     | 1,4        | 0,7      | 1,1         |
| São Paulo, Pinheiros (tráfego) - jan. a dez./2017*                      | 1,7                               | 7,1     | 3,2        | 1,1      | 1,6         |
| Santo André (industrial) - 2017** <sup>(5)</sup>                        | 2,8                               | 5,7     | -          | -        | -           |
| São José dos Campos (tráfego) - 2020** <sup>(6)</sup>                   | 0,2                               | -       | -          | -        | -           |
| São José dos Campos (tráfego) - 2017** <sup>(5)</sup>                   | 0,5                               | 1,3     | -          | -        | -           |
| São José dos Campos (industrial) - 2020** <sup>(6)</sup>                | 1,2                               | 5,6     | -          | -        | -           |
| São José dos Campos (industrial) - 2017** <sup>(5)</sup>                | 1,7                               | 4,4     | -          | -        | -           |
| EUA - San Jose - Knox Avenue - 2020*** <sup>(11)</sup>                  | 5,4                               | 17,0    | 10,4       | 3,9      | 3,5         |
| EUA - San Jose - Knox Avenue - 2017*** <sup>(11)</sup>                  | 7,3                               | 20,4    | 12,2       | 5,6      | 6,5         |
| EUA - Nova York - Queens -Queens College 2 - 2020*** <sup>(11)</sup>    | 3,2                               | 9,0     | 5,2        | 1,7      | 1,7         |
| EUA - Nova York - Queens -Queens College 2 - 2017*** <sup>(11)</sup>    | 3,2                               | 5,7     | 4,8        | 1,7      | 1,7         |
| EUA - Nova York - Bronx - Pfizer Lab Site - 2020*** <sup>(11)</sup>     | 3,8                               | 6,4     | 3,9        | 1,7      | 1,3         |
| EUA - Nova York - Bronx - Pfizer Lab Site - 2017*** <sup>(11)</sup>     | 3,5                               | 6,4     | 3,9        | 1,3      | 1,3         |
| EUA - Phoenix-Mesa-Scottsdale - South Phoenix - 2020*** <sup>(11)</sup> | 8,0                               | 35,0    | 17,4       | 6,9      | 6,1         |
| EUA - Phoenix-Mesa-Scottsdale - South Phoenix - 2017*** <sup>(11)</sup> | 10,5                              | 34,7    | 15,2       | 7,4      | 6,9         |
| França - Paris (tráfego) - 2020 <sup>(12)</sup>                         | 1,9                               | -       | -          | -        | -           |
| França - Paris (tráfego) - 2017 <sup>(12)</sup>                         | 2,6                               | -       | -          | -        | -           |
| França - Bordeaux (tráfego) - 2020 <sup>(12)</sup>                      | 1,7                               | -       | -          | -        | -           |
| França - Bordeaux (tráfego) - 2017 <sup>(12)</sup>                      | 1,8                               | -       | -          | -        | -           |
| Itália - Roma (tráfego) - 2020 <sup>(12)</sup>                          | 1,0                               | -       | -          | -        | -           |
| Itália - Roma (tráfego) - 2017 <sup>(12)</sup>                          | 2,1                               | -       | -          | -        | -           |

\*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

Na maior parte dos locais, as médias de benzeno em 2017 foram maiores do que as de 2020, provavelmente devido à influência das restrições de tráfego provocadas pela pandemia.

Na **Tabela 6**, são apresentados resultados de outros estudos, com amostragem manual, realizados pela CETESB em Paulínia<sup>(13)</sup> e em diferentes localidades do município de São Paulo<sup>(14)</sup>. Dados do monitoramento automático de benzeno e tolueno podem ser encontrados nos Relatórios de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo<sup>(5, 6)</sup>.

**Tabela 6 – Médias de COVs (µg/m<sup>3</sup>) obtidas em Paulínia e em diferentes locais do município de São Paulo.**

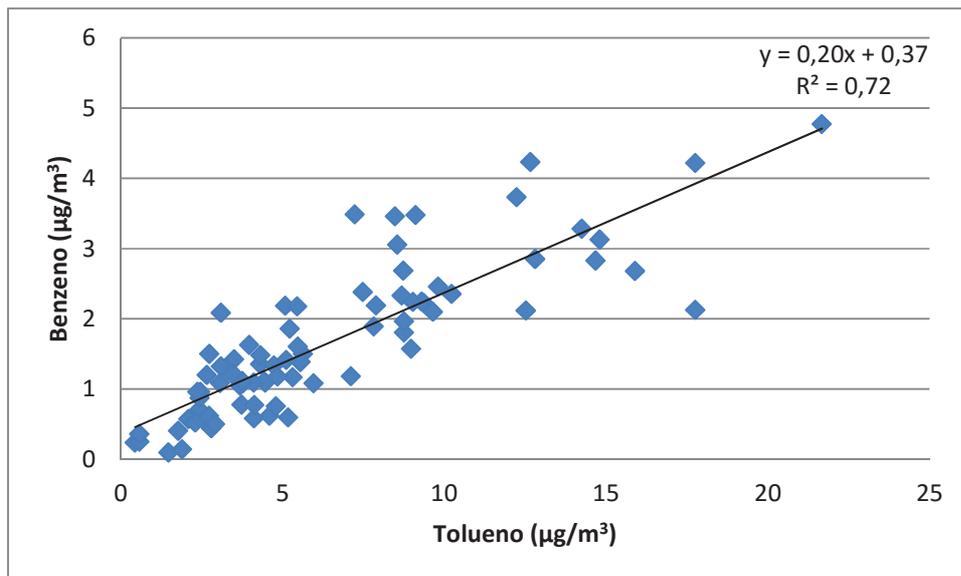
| Local  | Nº Amostras | Concentração (µg/m <sup>3</sup> ) |         |            |          |             |
|--|-------------|-----------------------------------|---------|------------|----------|-------------|
|  |             | benzeno                           | tolueno | m,p-xileno | o-xileno | etilbenzeno |
| São Paulo, Pinheiros (tráfego) - abr. a out./2020                          | 28          | 1,55                              | 4,95    | 1,45       | 0,65     | 1,11        |
| São Paulo, Pinheiros (tráfego) - jan. a dez./2017                          | 53          | 1,70                              | 7,15    | 3,21       | 1,15     | 1,63        |
| Paulínia, Jd. Santa Terezinha (tráfego) - ago. a nov./2017 <sup>(13)</sup> | 16          | 0,9                               | 3       | 1,3        | 0,4      | 0,8         |
| São Paulo, Pinheiros (tráfego) - fev. a out./2014 <sup>(14)</sup>          | 28          | 1,6                               | 7,1     | 3,1        | 1,2      | 1,6         |
| São Paulo, Pinheiros (tráfego) - fev. a ago/2013 <sup>(14)</sup>           | 24          | 2,9                               | 12,6    | 5,7        | 2,8      | 2,7         |

#### 6.4 Razões Tolueno/Benzeno

As concentrações dos poluentes em diferentes períodos são distintas, entretanto, é importante verificar o quanto a relação entre estes poluentes se mantém.

O **Gráfico 6** apresenta o diagrama de dispersão das concentrações diárias de tolueno em função das concentrações diárias de benzeno medidas em 2017 e 2020 na estação Pinheiros.

**Gráfico 6 – Diagrama de dispersão das concentrações diárias de tolueno em função do benzeno, na estação Pinheiros, em 2017 e 2020.**



O coeficiente de correlação de Pearson<sup>(15)</sup> ( $r = 0,85$ ) 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 e nas vias no entorno, como a Marginal Pinheiros.

Segundo a literatura<sup>(16)</sup>, uma faixa específica da razão tolueno/benzeno tem sido usada como indicador de emissões veiculares. Estes valores estão compreendidos entre 1,5 a 3,0, com variações atribuídas principalmente a diferentes tipos de veículos e composição de combustível em diferentes regiões.

Na **Tabela 7**, são apresentadas as médias de benzeno e tolueno e a razão entre estes poluentes em São Paulo e em algumas cidades dos EUA, em 2017 e em 2020.

**Tabela 7 – Médias anuais de benzeno e tolueno em diferentes localidades e as respectivas razões T/B.**

| Local   | Conc. ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) |         | T/B |
|---|------------------------------------|---------|-----|
|   | benzeno                            | tolueno |     |
| São Paulo, Pinheiros (tráfego) - abr. a out./2020*              | 1,55                               | 4,95    | 3,2 |
| São Paulo, Pinheiros (tráfego) - abr. a out./2017*              | 1,93                               | 8,08    | 4,2 |
| São Paulo, Pinheiros (tráfego) - jan. a dez./2017*              | 1,70                               | 7,15    | 4,2 |
| Paulínia, Jd. Santa Terezinha (tráfego) - ago. a nov./2017*(13) | 0,9                                | 3,0     | 3,3 |
| São José dos Campos (tráfego) - 2017**(5)                       | 0,5                                | 1,3     | 2,6 |
| São José dos Campos (industrial) - 2020**(6)                    | 1,2                                | 5,6     | 4,7 |
| São José dos Campos (industrial) - 2017**(5)                    | 1,7                                | 4,4     | 2,6 |
| EUA - San Jose - Knox Avenue - 2020*** (11)                     | 5,4                                | 17,0    | 3,1 |
| EUA - San Jose - Knox Avenue - 2017*** (11)                     | 7,3                                | 20,4    | 2,8 |
| EUA - Nova York - Queens -Queens College 2 - 2020*** (11)       | 3,2                                | 9,0     | 2,8 |
| EUA - Nova York - Queens -Queens College 2 - 2017*** (11)       | 3,2                                | 5,7     | 1,8 |
| EUA - Nova York - Bronx - Pfizer Lab Site - 2020*** (11)        | 3,8                                | 6,4     | 1,7 |
| EUA - Nova York - Bronx - Pfizer Lab Site - 2017*** (11)        | 3,5                                | 6,4     | 1,8 |
| EUA - Phoenix-Mesa-Scottsdale - South Phoenix - 2020*** (11)    | 8,0                                | 35,0    | 4,4 |
| EUA - Phoenix-Mesa-Scottsdale - South Phoenix - 2017*** (11)    | 10,5                               | 34,7    | 3,3 |

\*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

Na estação Pinheiros, em 2017 a razão entre as médias anuais de tolueno e benzeno foi 4,2. Esta razão se mantém no mesmo patamar quando se considera o período de abril a outubro de 2017. Em 2020, no período de abril a outubro, a razão tolueno e benzeno foi 3,2. Nas diferentes localidades apresentadas na **Tabela 7**, as razões tolueno/benzeno variaram de 1,7 a 4,7, com o maior valor em São José dos Campos (Industrial), em 2020.

Conforme apontado por Gelencsér et al.<sup>(17)</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.

## 7 Conclusões

- As maiores concentrações de COVs foram medidas em 2017, embora as condições de dispersão dos poluentes atmosféricos tenham sido mais favoráveis em comparação com 2020. Este comportamento reflete a influência das medidas de restrição das atividades, e consequente diminuição da circulação de veículos automotores, decorrentes da pandemia de COVID-19.

- Os perfis das médias de concentração de COVs medidos em 2017 e em 2020 foram semelhantes, destacando-se as maiores concentrações de tolueno, n-hexano, m,p-xileno e benzeno, em relação aos demais poluentes medidos.
- A forte correlação entre as concentrações de tolueno e benzeno ( $r = 0,85$ ) sugere que estes poluentes provêm do mesmo tipo de fontes.
- As relações tolueno/benzeno de 3,2 em 2020 e 4,2 em 2017, em Pinheiros, indicam que as fontes de emissão estão próximas do local de amostragem, pois as concentrações de tolueno tendem a se degradar mais rapidamente do que as de benzeno à medida que aumenta a distância em relação às fontes, resultando em razões T/B menores.
- A comparação dos resultados deste estudo com os de outros centros urbanos dos EUA e Europa, que aplicaram princípios semelhantes de amostragem e análise, mostram resultados da mesma ordem de grandeza para o benzeno em São Paulo, França e Itália.
- A média anual de benzeno na estação Pinheiros em 2017,  $1,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , foi inferior ao valor de referência adotado pela Comunidade Europeia -  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , média anual. Da mesma forma, a média de 2020 também foi menor do que este valor, embora o monitoramento não tenha completado um ano. Neste caso é importante considerar que as medições foram realizadas no período mais desfavorável à dispersão dos poluentes atmosféricos.

## 8 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\\_1\\_09.pdf](https://www.arb.ca.gov/ei/speciate/voc_rog_dfn_1_09.pdf). Acesso em nov. 2021
2. SÃO PAULO, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). **Caracterização das Estações da Rede Automática de Monitoramento da Qualidade do Ar na RMSP Estação Cerqueira César. São Paulo, 2005.** Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/ar/publicacoes-relatorios/>. Acesso em: 08 nov. 2021
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> Acesso em: 05 nov. 2021
4. SÃO PAULO, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). SQ PR/LB-029 “**Validação de Métodos Analíticos EAAQ**”, 2007
5. SÃO PAULO, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). **Qualidade do Ar no Estado de São Paulo, 2017.** Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/ar/wp-content/uploads/sites/28/2019/05/Relat%C3%B3rio-de-Qualidade-do-Ar-2017.pdf>. Acesso em: 08 nov. 2021.
6. 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>. Acesso em: 08 nov. 2021.
7. 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.s bq.org.br/quimicanova.s bq.org.br/pdf/v37n1a19.pdf> Acesso em: 08 nov. 2021.
8. 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
9. WORLD HEALTH ORGANIZATION, WHO. **Air Quality Guidelines for Europe. 2<sup>nd</sup> Edition. WHO Regional Publications, European Series, N°91.** Copenhagen, 2000. 273p. Disponível em: <https://www.euro.who.int/em/publications/abstracts/air-quality-guidelines-for-europe> Acesso em dez/2020
10. WORLD HEALTH ORGANIZATION, WHO. **Updating and revision of the air quality guidelines for Europe: report on a WHO Working Group on Volatile Organic Compounds.** Brussels, Belgium, 2-6 October 1995. Disponível em: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/107551> Acesso em 08 nov. 2021

11. UNITED STATES, Environmental Protection Agency (USEPA). **Pre-Generated Data Files – Table of Annual Summary Data**. Disponível em: [https://aqs.epa.gov/aqswweb/airdata/download\\_files.html#Annual](https://aqs.epa.gov/aqswweb/airdata/download_files.html#Annual). Acesso em: 08 nov. 2021.
12. 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.
13. 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> Acesso em: 08 nov. 2021
14. 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> 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**. 2012; 24 (3): 69-71
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. Disponível em: <https://doi.org/10.1100/2011/167973>. Acesso em: dez. 2020
17. 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 <https://wwwn.cdc.gov/TSP/ToxProfiles/ToxProfiles.aspx?id=40&tid=14> Acesso em: 05 nov. 2021

## Apêndice

| 2017  | LD<br>µg/m <sup>3</sup> | %dados <LD | janeiro |      |      | fevereiro |      |      | março |      |      |      | abril |      |      |      | maio |      |      |      |      |       |      |      |      |
|---|-------------------------|------------|---------|------|------|-----------|------|------|-------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|
|   |                         |            | 13      | 25   | 31   | 6         | 12   | 18   | 2     | 8    | 20   | 26   | 1     | 7    | 13   | 19   | 25   | 1    | 7    | 13   | 19   | 25    | 31   |      |      |
| 1,3-butadieno (C <sub>4</sub> H <sub>6</sub> )          | 0,049                   | 100        | LD      | LD   | LD   | LD        | LD   | LD   | LD    | LD   | LD   | LD   | LD    | LD   | LD   | LD   | LD   | LD   | LD   | LD   | LD   | LD    | LD   | LD   |      |
| benzeno (C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> )                | 0,093                   | 0          | 0,62    | 0,71 | 1,09 | 1,35      | 0,96 | 2,46 | 1,05  | 1,11 | 0,59 | 0,76 | 0,46  | 1,08 | 0,58 | 1,34 | 1,38 | 0,57 | 0,52 | 2,22 | 2,10 | 4,77  | 2,19 |      |      |
| ciclohexano (C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> )           | 0,052                   | 0          | 0,51    | 0,54 | 0,96 | 0,79      | 0,44 | 1,80 | 0,54  | 1,02 | 0,32 | 0,38 | 0,26  | 0,51 | 0,59 | 0,56 | 0,90 | 0,37 | 0,37 | 1,53 | 1,30 | 3,56  | 1,22 |      |      |
| n-hexano (C <sub>6</sub> H <sub>14</sub> )              | 0,109                   | 0          | 1,70    | 1,57 | 2,12 | 2,26      | 1,45 | 4,66 | 1,73  | 2,84 | 1,75 | 1,45 | 1,09  | 2,57 | 1,40 | 2,44 | 2,35 | 1,17 | 1,19 | 3,75 | 3,61 | 8,46  | 3,58 |      |      |
| tolueno (C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> )                | 0,075                   | 0          | 4,61    | 2,44 | 4,49 | 4,32      | 2,48 | 9,81 | 3,69  | 4,45 | 5,19 | 4,81 | 2,79  | 5,98 | 4,14 | 4,75 | 5,57 | 2,10 | 2,32 | 9,38 | 9,66 | 21,68 | 7,90 |      |      |
| 2,3-dimetil-pentano C <sub>7</sub> H <sub>16</sub> )    | 0,098                   | 53         | LD      | LD   | LD   | LD        | LD   | 0,58 | LD    | LD   | LD   | LD   | LD    | LD   | LD   | LD   | LD   | LD   | LD   | LD   | LD   | LD    | LD   | LD   |      |
| n-heptano (C <sub>7</sub> H <sub>16</sub> )             | 0,185                   | 0          | 0,72    | 0,79 | 1,01 | 1,32      | 0,63 | 2,58 | 1,07  | 1,07 | 0,50 | 0,78 | 0,46  | 1,09 | 0,68 | 0,73 | 1,39 | 0,53 | 0,58 | 2,31 | 2,36 | 5,17  | 2,32 |      |      |
| etilbenzeno (C <sub>8</sub> H <sub>10</sub> )           | 0,130                   | 0          | 1,05    | 0,74 | 1,48 | 1,42      | 1,00 | 2,41 | 2,35  | 1,47 | 1,49 | 1,81 | 1,02  | 1,63 | 1,81 | 1,14 | 1,03 | 0,53 | 0,39 | 1,62 | 1,28 | 4,05  | 1,10 |      |      |
| m,p-xileno (C <sub>8</sub> H <sub>10</sub> )            | 0,074                   | 0          | 2,09    | 1,80 | 2,74 | 3,91      | 3,23 | 7,29 | 7,04  | 2,86 | 4,22 | 5,64 | 2,57  | 4,33 | 5,03 | 1,99 | 2,06 | 1,51 | 1,24 | 3,67 | 2,80 | 6,18  | 2,28 |      |      |
| o-xileno (C <sub>8</sub> H <sub>10</sub> )              | 0,117                   | 0          | 0,71    | 0,67 | 1,00 | 1,18      | 0,91 | 2,07 | 2,05  | 1,05 | 1,23 | 1,58 | 0,78  | 1,34 | 1,44 | 0,78 | 0,77 | 0,58 | 0,49 | 1,43 | 1,11 | 2,60  | 0,91 |      |      |
| n-octano (C <sub>8</sub> H <sub>18</sub> )              | 0,131                   | 2          | 0,36    | 0,54 | 0,50 | 0,68      | 0,39 | 1,17 | 0,61  | 0,48 | 0,31 | 0,52 | 0,27  | 0,57 | 0,37 | 0,43 | 0,69 | 0,27 | 0,33 | 1,18 | 1,26 | 0,06  | 1,20 |      |      |
| isopropil-benzeno (C <sub>9</sub> H <sub>12</sub> )     | 0,138                   | 89         | LD      | LD   | LD   | LD        | LD   | LD   | LD    | LD   | LD   | LD   | LD    | LD   | LD   | LD   | LD   | LD   | LD   | LD   | LD   | LD    | LD   | LD   | LD   |
| 1-metil-3-etilbenzeno (C <sub>9</sub> H <sub>12</sub> ) | 0,211                   | 21         | 0,34    | 0,36 | 0,42 | 0,32      | LD   | 0,53 | 0,40  | 0,44 | 0,27 | 0,36 | LD    | 0,36 | 0,27 | 0,32 | 0,42 | LD   | LD   | 0,50 | 0,41 | 0,87  | 0,31 |      |      |
| 2,3-dimetil-heptano (C <sub>9</sub> H <sub>20</sub> )   | 0,152                   | 91         | LD      | LD   | LD   | LD        | LD   | LD   | LD    | LD   | LD   | LD   | LD    | LD   | LD   | LD   | LD   | LD   | LD   | LD   | LD   | LD    | LD   | LD   | LD   |
| n-nonano (C <sub>9</sub> H <sub>20</sub> )              | 0,163                   | 4          | 0,56    | 0,57 | 0,67 | 0,84      | 0,55 | 0,98 | 0,26  | 0,26 | 0,08 | 0,26 | 0,26  | 0,59 | 0,50 | 0,26 | 0,60 | 0,26 | 0,26 | 0,85 | 0,86 | 1,57  | 0,71 |      |      |
| 1,2,3-trimetilbenzeno (C <sub>9</sub> H <sub>12</sub> ) | 0,221                   | 70         | LD      | LD   | LD   | LD        | LD   | LD   | LD    | LD   | LD   | LD   | LD    | LD   | LD   | LD   | LD   | LD   | LD   | 0,35 | 0,35 | 0,35  | 0,35 | 0,68 | 0,35 |
| 1,3,5-trimetilbenzeno (C <sub>9</sub> H <sub>12</sub> ) | 0,241                   | 74         | LD      | LD   | LD   | LD        | LD   | LD   | LD    | LD   | LD   | LD   | LD    | LD   | LD   | LD   | LD   | LD   | LD   | LD   | LD   | LD    | LD   | LD   | LD   |
| naftaleno (C <sub>10</sub> H <sub>8</sub> )             | 0,204                   | 0          | 0,23    | 0,26 | 0,28 | 0,51      | 0,41 | 0,65 | 0,35  | 0,25 | 0,24 | 0,35 | 0,44  | 0,44 | 0,46 | 0,61 | 0,73 | 0,63 | 0,56 | 1,52 | 0,98 | 1,40  | 0,71 |      |      |
| p-isopropiltolueno (C <sub>10</sub> H <sub>14</sub> )   | 0,236                   | 100        | LD      | LD   | LD   | LD        | LD   | LD   | LD    | LD   | LD   | LD   | LD    | LD   | LD   | LD   | LD   | LD   | LD   | LD   | LD   | LD    | LD   | LD   | LD   |
| butil-ciclohexano (C <sub>10</sub> H <sub>20</sub> )    | 0,195                   | 98         | LD      | LD   | LD   | LD        | LD   | LD   | LD    | LD   | LD   | LD   | LD    | LD   | LD   | LD   | LD   | LD   | LD   | LD   | LD   | LD    | LD   | LD   | LD   |
| n-decano (C <sub>10</sub> H <sub>22</sub> )             | 0,320                   | 28         | 0,44    | 0,37 | 0,59 | 0,89      | 0,51 | 0,98 | 0,55  | LD   | LD   | LD   | LD    | LD   | LD   | LD   | LD   | LD   | LD   | LD   | LD   | LD    | LD   | LD   | LD   |
| n-undecano (C <sub>11</sub> H <sub>24</sub> )           | 0,422                   | 79         | LD      | LD   | LD   | LD        | LD   | 0,67 | LD    | LD   | LD   | LD   | LD    | LD   | LD   | LD   | LD   | LD   | LD   | LD   | LD   | LD    | LD   | LD   | LD   |

| 2017  | LD<br>µg/m <sup>3</sup> | %dados <LD | maio |      |      |      |       | junho |       |       |       |      | julho |      |       |       | agosto |      |      |      |      |       |      |    |    |
|---|-------------------------|------------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|------|-------|-------|--------|------|------|------|------|-------|------|----|----|
|   |                         |            | 1    | 7    | 13   | 19   | 25    | 31    | 6     | 12    | 18    | 24   | 30    | 6    | 12    | 24    | 30     | 5    | 11   | 17   | 23   | 29    |      |    |    |
| 1,3-butadieno (C <sub>4</sub> H <sub>6</sub> )          | 0,049                   | 100        | LD   | LD   | LD   | LD   | LD    | LD    | LD    | LD    | LD    | LD   | LD    | LD   | LD    | LD    | LD     | LD   | LD   | LD   | LD   | LD    | LD   | LD | LD |
| benzeno (C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> )                | 0,093                   | 0          | 0,57 | 0,52 | 2,22 | 2,10 | 4,77  | 2,19  | 3,28  | 4,23  | 3,73  | 1,09 | 4,22  | 1,80 | 2,85  | 3,13  | 1,09   | 0,44 | 0,78 | 1,18 | 1,57 | 2,68  |      |    |    |
| ciclohexano (C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> )           | 0,052                   | 0          | 0,37 | 0,37 | 1,53 | 1,30 | 3,56  | 1,22  | 1,82  | 1,93  | 1,59  | 0,75 | 2,15  | 1,25 | 1,75  | 1,77  | 0,55   | 0,23 | 0,40 | 0,96 | 1,03 | 1,68  |      |    |    |
| n-hexano (C <sub>6</sub> H <sub>14</sub> )              | 0,109                   | 0          | 1,17 | 1,19 | 3,75 | 3,61 | 8,46  | 3,58  | 5,46  | 6,38  | 4,71  | 4,21 | 6,20  | 3,09 | 5,19  | 4,80  | 1,53   | 1,01 | 1,37 | 3,44 | 2,70 | 4,87  |      |    |    |
| tolueno (C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> )                | 0,075                   | 0          | 2,10 | 2,32 | 9,38 | 9,66 | 21,68 | 7,90  | 14,27 | 12,67 | 12,24 | 4,13 | 17,77 | 8,77 | 12,82 | 14,82 | 3,80   | 2,82 | 3,75 | 7,12 | 8,98 | 15,92 |      |    |    |
| 2,3-dimetil-pentano C <sub>7</sub> H <sub>16</sub> )    | 0,098                   | 53         | LD   | LD   | 0,63 | 0,50 | 1,04  | 0,55  | 0,73  | 0,82  | 0,72  | 0,16 | 0,75  | 0,33 | 0,51  | 0,57  | 0,16   | 0,16 | 0,16 | 0,16 | 0,35 | 0,65  |      |    |    |
| n-heptano (C <sub>7</sub> H <sub>16</sub> )             | 0,185                   | 0          | 0,53 | 0,58 | 2,31 | 2,36 | 5,17  | 2,32  | 3,41  | 3,95  | 3,02  | 0,93 | 3,53  | 1,60 | 2,47  | 3,11  | 0,83   | 0,43 | 0,60 | 1,20 | 1,62 | 2,81  |      |    |    |
| etilbenzeno (C <sub>8</sub> H <sub>10</sub> )           | 0,130                   | 0          | 0,53 | 0,39 | 1,62 | 1,28 | 4,05  | 1,10  | 2,47  | 3,08  | 2,02  | 1,25 | 3,69  | 2,01 | 3,34  | 3,43  | 0,96   | 0,48 | 0,94 | 2,34 | 2,25 | 2,77  |      |    |    |
| m,p-xileno (C <sub>8</sub> H <sub>10</sub> )            | 0,074                   | 0          | 1,51 | 1,24 | 3,67 | 2,80 | 6,18  | 2,28  | 4,31  | 5,36  | 4,19  | 1,94 | 3,98  | 1,98 | 4,67  | 5,97  | 1,99   | 0,94 | 1,65 | 3,31 | 3,42 | 4,77  |      |    |    |
| o-xileno (C <sub>8</sub> H <sub>10</sub> )              | 0,117                   | 0          | 0,58 | 0,49 | 1,43 | 1,11 | 2,60  | 0,91  | 1,78  | 2,21  | 1,70  | 0,86 | 1,88  | 0,97 | 1,87  | 2,16  | 0,75   | 0,40 | 0,66 | 1,26 | 1,34 | 1,88  |      |    |    |
| n-octano (C <sub>8</sub> H <sub>18</sub> )              | 0,131                   | 2          | 0,27 | 0,33 | 1,18 | 1,26 | 0,06  | 1,20  | 1,63  | 1,86  | 1,42  | 0,44 | 1,72  | 0,74 | 1,25  | 1,67  | 0,40   | 0,34 | 0,58 | 0,72 | 1,39 |       |      |    |    |
| isopropil-benzeno (C <sub>9</sub> H <sub>12</sub> )     | 0,138                   | 89         | LD   | LD   | LD   | LD   | LD    | LD    | LD    | LD    | LD    | LD   | LD    | LD   | LD    | LD    | LD     | LD   | LD   | LD   | LD   | LD    | LD   | LD | LD |
| 1-metil-3-etilbenzeno (C <sub>9</sub> H <sub>12</sub> ) | 0,211                   | 21         | LD   | LD   | 0,50 | 0,41 | 0,87  | 0,31  | 1,16  | 1,31  | 0,96  | 0,43 | 0,95  | 0,49 | 0,98  | 1,25  | 0,36   | 0,26 | 0,35 | 0,76 | 0,77 | 1,97  |      |    |    |
| 2,3-dimetil-heptano (C <sub>9</sub> H <sub>20</sub> )   | 0,152                   | 91         | LD   | LD   | 0,24 | 0,24 | 0,24  | LD    | LD    | LD    | LD    | LD   | LD    | LD   | LD    | LD    | LD     | LD   | LD   | LD   | LD   | LD    | LD   | LD | LD |
| n-nonano (C <sub>9</sub> H <sub>20</sub> )              | 0,163                   | 4          | 0,26 | 0,26 | 0,85 | 0,86 | 1,57  | 0,71  | 1,29  | 1,41  | 0,96  | 0,26 | 1,26  | 0,64 | 1,07  | 1,43  | 0,26   | 0,26 | 0,26 | 0,86 | 0,81 | 1,34  |      |    |    |
| 1,2,3-trimetilbenzeno (C <sub>9</sub> H <sub>12</sub> ) | 0,221                   | 70         | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,68  | 0,35  | 0,35  | 0,35  | 0,35  | 0,35 | LD    | LD   | LD    | 0,35  | 0,35   | LD   | LD   | LD   | 0,35 | 0,35  | 0,83 |    |    |
| 1,3,5-trimetilbenzeno (C <sub>9</sub> H <sub>12</sub> ) | 0,241                   | 74         | LD   | LD   | 0,38 | 0,38 | 0,38  | 0,38  | 0,38  | 0,38  | 0,38  | LD   | LD    | LD   | 0,38  | 0,38  | LD     | LD   | LD   | LD   | LD   | LD    | LD   | LD | LD |
| naftaleno (C <sub>10</sub> H <sub>8</sub> )             | 0,204                   | 0          | 0,63 | 0,56 | 1,52 | 0,98 | 1,40  | 0,71  | 0,82  | 0,96  | 0,80  | 0,40 | 0,66  | 0,54 | 0,78  | 1,09  | 0,48   | 0,31 | 0,38 | 0,48 | 0,73 | 0,79  |      |    |    |
| p-isopropiltolueno (C <sub>10</sub> H <sub>14</sub> )   | 0,236                   | 100        | LD   | LD   | LD   | LD   | LD    | LD    | LD    | LD    | LD    | LD   | LD    | LD   | LD    | LD    | LD     | LD   | LD   | LD   | LD   | LD    | LD   | LD | LD |
| butil-ciclohexano (C <sub>10</sub> H <sub>20</sub> )    | 0,195                   | 98         | LD   | LD   | LD   | LD   | LD    | LD    | LD    | LD    | LD    | LD   | LD    | LD   | LD    | LD    | LD     | LD   | LD   | LD   | LD   | LD    | LD   | LD | LD |
| n-decano (C <sub>10</sub> H <sub>22</sub> )             | 0,320                   | 28         | LD   | LD   | 0,51 | 0,99 | 1,30  | 0,47  | 0,95  | 0,74  | 0,41  | LD   | 0,69  | 0,34 | 0,75  | 1,14  | LD     | LD   | LD   | 0,41 | 0,52 | 0,99  |      |    |    |
| n-undecano (C <sub>11</sub> H <sub>24</sub> )           | 0,422                   | 79         | LD   | LD   | LD   | 0,67 | 0,67  | 0,67  | 0,67  | LD    | LD    | LD   | LD    | LD   | LD    | LD    | LD     | LD   | LD   | LD   | LD   | LD    | LD   | LD | LD |

| 2017   | LD<br>µg/m <sup>3</sup> | %dados <LD | setembro |      |      |      |      | outubro |      |      |      |      | novembro |      |      |      | dezembro |      |      |    |    |    |    |    |    |
|--|-------------------------|------------|----------|------|------|------|------|---------|------|------|------|------|----------|------|------|------|----------|------|------|----|----|----|----|----|----|
|  |                         |            | 4        | 10   | 16   | 22   | 28   | 4       | 10   | 16   | 22   | 28   | 3        | 9    | 15   | 21   | 3        | 9    | 15   | 21 |    |    |    |    |    |
| 1,3-butadieno (C <sub>4</sub> H <sub>6</sub> ) | 0,049                   | 100        | LD       | LD   | LD   | LD   | LD   | LD      | LD   | LD   | LD   | LD   | LD       | LD   | LD   | LD   | LD       | LD   | LD   | LD | LD | LD | LD | LD | LD |
| benzeno (C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> )       | 0,093                   | 0          | 2,38     | 1,86 | 1,50 | 2,83 | 2,24 | 1,17    | 2,33 | 1,11 | 1,62 | 1,20 | 1,18     | 1,60 | 1,39 | 1,89 | 0,62     | 0,77 | 2,35 |    |    |    |    |    |    |





| Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente

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)

ISBN 978-65-5577-032-2