



CETESB

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO

---

PROGRAMA DE GESTÃO E CONTROLE DA QUALIDADE AMBIENTAL  
PLANO DE AVALIAÇÃO DA QUALIDADE AMBIENTAL  
CONTROLE DE EMISSÃO DE POLUENTES EM FONTE MÓVEIS  
ATIVIDADE 13 200 300 – INVENTÁRIO DE FONTES MÓVEIS

**Metodologia de inventário de evaporação de  
combustível no abastecimento de veículos  
leves do ciclo Otto**

SÃO PAULO-SP  
JANEIRO/2015

## **FICHA TÉCNICA**

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

Eng. Carlos Roberto dos Santos

### **Departamento de Apoio Operacional**

Met. Carlos Ibsen Vianna Lacava

### **Divisão de Homologação e Fiscalização Veicular**

Tecnol. Vanderlei Borsari

### **Autores**

Marcelo Pereira Bales

Gerente do Setor de Avaliação de Emissões Veiculares

Coordenação Técnica

Silmara Regina da Silva

Analista Administrativo

Rodrigo Marcel Honório

Estagiário – Engenharia Mecânica

## RESUMO

Para a redução do ozônio troposférico é necessário reduzir seus poluentes percussores, entre eles os compostos orgânicos voláteis (COV). Atualmente a CETESB contabiliza no inventário de emissões de fontes móveis apenas as emissões ocorridas no veículo e não no abastecimento. Para calcular as emissões de COV emitidos no abastecimento de veículos movidos a gasolina e etanol, é necessário saber a taxa de evaporação desses combustíveis. Em posse dessa taxa é possível calcular a emissão de cada combustível e somar esse valor às demais emissões de COV. Os resultados obtidos demonstram que a emissão no abastecimento é significativa e há necessidade da inclusão da taxa de evaporação no abastecimento no inventário anual de fontes móveis, bem como uma pesquisa nacional sobre a evaporação desses combustíveis comercializados no Brasil.

**Palavras-chave:** Evaporação. Abastecimento. Combustíveis. Compostos orgânicos voláteis. Ozônio.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Taxa de evaporação de combustíveis. ....	9
Tabela 2 - Estimativa da emissão veicular de NMHC, RCHO e COV na RMSP em 2013.....	10
Tabela 3 - Estimativa de emissão veicular de NMHC na RMSP em 2013 incluindo as emissões durante o abastecimento.....	10
Tabela 4 - Estimativa da emissão veicular de NMHC, RCHO e COV na RMSP em 2013 incluindo as emissões durante o abastecimento. ....	11
Tabela 5 - Comparativo entre as estimativas de emissões de COV na RMSP em 2013 sem incluir abastecimento (antigo) e incluído o abastecimento (novo).....	11

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis.
SHED	Sealed Housing for Evaporative Determination
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
COV	Compostos orgânicos voláteis
HC	Hidrocarbonetos
MMA	Ministério do Meio Ambiente
NMHC	Hidrocarboneto não metano
RMSP	Região Metropolitana de São Paulo
THC	Hidrocarbonetos totais
UV-B	Raio Ultravioleta
WHO	World Health Organization

## LISTA DE SÍMBOLOS

CH <sub>4</sub>	Metano
g	Gramas
km	Quilômetro
L	Litro
m <sup>3</sup>	Metro cúbico
NO	Oxido Nítrico
NO <sub>2</sub>	Dióxido de nitrogênio
NO <sub>x</sub>	Óxidos de nitrogênio
RCHO	Aldeídos
µg	Micrograma

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	7
2 OBJETIVO .....	8
3 METODOLOGIA .....	8
4 RESULTADOS.....	9
5 CONCLUSÃO .....	12
REFERÊNCIAS .....	13

## 1 – INTRODUÇÃO

O ozônio troposférico é um poluente secundário, ou seja, não é emitido diretamente pelas chaminés de indústrias e escapamentos de veículos. É o produto de uma série de reações químicas em condições meteorológicas específicas, nas quais se destaca a presença de radiação solar, motivo pelo qual também se usa a designação oxidante fotoquímico<sup>1</sup>.

Com relação ao efeito do ozônio sobre a saúde, as ocorrências mais relatadas da exposição de seres humanos são: irritação nos olhos e nas vias respiratórias, aumento dos sintomas em pacientes asmáticos elevando os riscos de internações, diminuição da função pulmonar entre crianças e aumento no parto prematuro<sup>2</sup>.

Os precursores do ozônio são os óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ) e certos hidrocarbonetos (HC), também designados de Compostos Orgânicos Voláteis (COV)<sup>1</sup>.

Os óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}$  e  $\text{NO}_2$ ) são lançados na atmosfera por meio de processos de combustão (veicular e industrial). Os compostos orgânicos voláteis são emitidos pelos processos evaporativos, da queima incompleta de combustíveis automotivos e em processos industriais<sup>3</sup>.

O termo COV é, por vezes, estendido aos compostos semi-voláteis e engloba os compostos de carbono-hidrogênio e os que contêm outros átomos, como o oxigênio, nitrogênio, enxofre, cloro, etc. É também frequente utilizar o termo hidrocarboneto não metano (NMHC), uma vez que esse último é, em geral, estudado separadamente<sup>4</sup>.

Os aldeídos (RCHO) são compostos químicos resultantes da oxidação parcial dos alcoóis ou de reações fotoquímicas na atmosfera, envolvendo hidrocarbonetos. Também fazem parte da família dos COV. Eles são emitidos na queima de combustíveis em veículos automotores, principalmente nos veículos que utilizam etanol. Os aldeídos emitidos pelos veículos são o formaldeído e o acetaldeído. Seus principais efeitos são: a irritação das mucosas, dos olhos, do nariz e das vias respiratórias e podem causar crises asmáticas. São ainda compostos carcinogênicos<sup>4</sup>.

Os hidrocarbonetos (HC) são compostos formados de carbono e hidrogênio e podem se apresentar na forma de gases, partículas finas ou gotas. Podem ser divididos em hidrocarbonetos totais (THC), hidrocarboneto simples, conhecido como metano ( $\text{CH}_4$ ) e hidrocarbonetos não metano (NMHC), que compreendem os HC totais (THC) menos a parcela de metano ( $\text{CH}_4$ )<sup>4</sup>. Devido a sua baixa reatividade fotoquímica o metano não é considerado um COV<sup>5</sup>.

Os hidrocarbonetos não metano (NMHC), provêm de uma grande variedade de processos industriais e naturais. Nos centros urbanos, as principais fontes emissoras são os carros, ônibus e caminhões, nos processos de queima e evaporação de combustíveis<sup>4</sup>.

As emissões de um veículo automotor podem ocorrer pelo escapamento ou podem ser de natureza evaporativa. Essas últimas são constituídas pelos hidrocarbonetos que evaporam do tanque e do sistema de alimentação de combustível durante os seguintes processos: emissões diurnas, causadas em especial pela insolação do veículo, perdas em movimento e emissões evaporativas em repouso

com o motor quente<sup>6</sup>. Esses vapores são formados devido a uma característica química deste produto chamada volatilidade. Os vapores de gasolina são basicamente COV. Se por um lado seria interessante buscar diminuir a volatilidade para diminuir as emissões, os especialistas em combustão buscam maximizá-la, pois, desta forma, conseguem a eficiência da conversão energética, mais energia com o mesmo consumo<sup>1</sup>.

As emissões evaporativas ocorrem também ao longo de toda cadeia de operação de transferência do combustível, tais como: da distribuidora para o caminhão tanque, do caminhão tanque para o posto e ainda do posto de abastecimento para o veículo. Durante todos os processos de transferência de combustível os COV são lançados na atmosfera, porém poderiam ser capturadas e processadas<sup>1</sup>.

A Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) apresenta um alto potencial de formação de ozônio, uma vez que há grande emissão de precursores, principalmente de origem veicular. De acordo com o Decreto Estadual 59.113, de 23/04/2013, o padrão de qualidade do ar para ozônio é de 140 µg/m<sup>3</sup> para 8 horas. Em 2013 esse padrão foi excedido em 13 dias e, apesar desse ano estar entre os anos com menor número de dias de ultrapassagens, provavelmente em função das variáveis meteorológicas, esse poluente ainda requer atenção e controle dos seus precursores<sup>7</sup>.

## 2 – OBJETIVO

Desenvolver uma metodologia para quantificar a emissão de vapores de gasolina e etanol, durante o abastecimento do veículo e avaliar a importância desses vapores na emissão total de Compostos Orgânicos Voláteis (COV) por veículos.

## 3 – METODOLOGIA

Para calcular a taxa de evaporação do combustível no abastecimento foi utilizada a seguinte equação:

$$T_g = C \times C_e \quad (1)$$

Onde:

- $T_g$  é a taxa anual de emissão de vapor gerado (g/ano);
- $C$  é a quantidade de combustível usada no abastecimento, que corresponde ao consumo, gasolina ou etanol, do qual se quer obter a quantidade de vapor (L);
- $C_e$  é a taxa de evaporação do combustível (g/L).

O consumo de combustível foi obtido do Relatório de Emissões Veiculares do Estado de São Paulo - 2013<sup>8</sup>.

Foram utilizadas taxas de evaporação da gasolina e do etanol recomendadas no estudo “Redução da Emissão Evaporativa do Veículo em Movimento e no e Abastecimento de Combustível”<sup>9</sup>. A gasolina utilizada nesse estudo possuía 22% de etanol anidro conforme a portaria ANP N° 309 de 27.12.2001<sup>10</sup>.

As taxas de evaporação foram medidas através de ensaios utilizando uma câmara SHED (Sealed Housing for Evaporative Determination), onde o veículo é inserido enquanto emite evaporações de combustível. A medição foi feita por detectores de ionização de chamas, calibrado com gás padrão. No caso das emissões de etanol, a calibração permanece a mesma, mas aplicam-se fatores de correção de resposta do analisador, levantados uma única vez para cada detector e utilizados apenas nos procedimentos de cálculo, juntamente com as constantes de combustível fornecidas pela norma ABNT NBR 11481<sup>11</sup>.

A tabela 1 apresenta as taxas de evaporação ( $C_e$ ) dos combustíveis comercializados no Brasil adotados neste estudo.

**Tabela 1 – Taxa de evaporação de combustíveis.**

Combustível	Taxa de evaporação (g/l)
Gasolina	1,14
Etanol	0,37

Fonte: CETESB (8), SZWARC (9), adaptado pelo autor.

Os veículos que utilizam motores do ciclo a diesel não foram considerados, pois a volatilidade é muito baixa e não existem estudos consideráveis sobre esse assunto, assim como estudos referentes às motocicletas.

Para o cálculo das emissões de abastecimento foi utilizado o consumo total de cada combustível, na RMSP em 2013 (C).

## 4 – RESULTADOS

A Tabela 2 apresenta as emissões hidrocarbonetos não metanos (NMHC), de aldeídos (RCHO) e a soma dos dois poluentes, identificado como “Total de COV” de origem veicular na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) no ano de 2013<sup>9</sup>.

**Tabela 2 - Estimativa da emissão veicular de NMHC, RCHO e COV na RMSP em 2013.**

Categoria	Combustível	NMHC (t) <sup>1</sup>	RCHO (t)	Total de COV (t)
Automóveis	Gasolina C	12.029	276	12.305
	Etanol Hidratado	2.515	104	2.619
	Flex-gasolina C	2.037	35	2.072
	Flex-etanol hidratado	2.113	165	2.278
Comerciais Leves	Gasolina C	1.525	30	1.556
	Etanol Hidratado	167	7	174
	Flex-gasolina C	298	5	303
	Flex-etanol hidratado	300	28	328
		20.983	650	21.634

Fonte: CETESB (8), adaptado pelo autor.

A tabela 3 apresenta os valores calculados de NMHC no abastecimento, as estimativas de NMHC dos veículos, a somatória das emissões e o aumento percentual devido às emissões de abastecimento.

**Tabela 3 - Estimativa de emissão veicular de NMHC na RMSP em 2013 incluindo as emissões durante o abastecimento.**

Categoria	Combustível	NMHC (t) abastecimento	NMHC (t)	NMHC (t) total	Aumento de NMHC
Automóveis	Gasolina C	2.898	12.029	14.927	24%
	Etanol Hidratado	46	2.515	2.561	2%
	Flex-gasolina C	1.375	2.037	3.412	68%
	Flex-etanol hidratado	645	2.113	2.758	30%
Comerciais Leves	Gasolina C	625	1.525	2.151	41%
	Etanol Hidratado	3	167	170	2%
	Flex-gasolina C	256	298	554	86%
	Flex-etanol hidratado	103	300	403	34%
		5.952	20.983	26.935	28%

Fonte: CETESB (8), adaptado pelo autor.

Pode-se observar na tabela 3 uma estimativa de aumento de 28% de NMHC nas emissões atuais devido à emissão de abastecimento. Esse significativo aumento contribui no acréscimo das emissões de COV.

A tabela 4 apresenta as estimativas das emissões de RCHO, NMHC com a nova metodologia de cálculo que inclui as emissões no abastecimento e o total de COV gerado por estes valores.

**Tabela 4 - Estimativa da emissão veicular de NMHC, RCHO e COV na RMSP em 2013 incluindo as emissões durante o abastecimento.**

<b>Categoria</b>	<b>Combustível</b>	<b>RCHO (t)</b>	<b>NMHC total (t)</b>	<b>COV (t)</b>
Automóveis	Gasolina C	276	14.927	15.203
	Etanol Hidratado	104	2.561	2.665
	Flex-gasolina C	35	3.412	3.447
	Flex-etanol hidratado	165	2.758	2.923
Comerciais Leves	Gasolina C	30	2.151	2.181
	Etanol Hidratado	7	170	177
	Flex-gasolina C	5	554	559
	Flex-etanol hidratado	28	403	431
		<b>650</b>	<b>26.935</b>	<b>27.585</b>

Fonte: CETESB (8), adaptado pelo autor.

Como pode ser constatado na Tabela 5, o significativo aumento nas estimativas de NMHC contribuem para um acréscimo nas estimativas de emissões dos COV em torno de 22%.

**Tabela 5 - Comparativo entre as estimativas de emissões de COV na RMSP em 2013 sem incluir abastecimento (antigo) e incluído o abastecimento (novo).**

<b>Categoria</b>	<b>Combustível</b>	<b>COV (t) antigo</b>	<b>COV (t) novo</b>	<b>Aumento de COV</b>
Automóveis	Gasolina C	12.305	15.203	19%
	Etanol Hidratado	2.619	2.665	2%
	Flex-gasolina C	2.072	3.447	40%
	Flex-etanol hidratado	2.278	2.923	22%
Comerciais Leves	Gasolina C	1.556	2.181	29%
	Etanol Hidratado	174	177	2%
	Flex-gasolina C	303	559	46%
	Flex-etanol hidratado	328	431	24%
		<b>21.634</b>	<b>27.585</b>	<b>22%</b>

Fonte: CETESB (8), adaptado pelo autor.

## 5 – CONCLUSÃO

O crescimento contínuo da frota de veículos nas duas últimas décadas é acompanhado de um conseqüente aumento na quantidade de combustíveis produzidos, armazenados em bases, distribuídos para os postos de gasolina e desses, transferidos para os tanques dos veículos, o que implica em um aumento anual considerável nas emissões de COV.

É importante quantificar a emissão evaporativa no abastecimento, pois esta corresponde a estimados 1,14 g de vapor de gasolina e 0,37 g de vapor de etanol emitidos em cada litro de combustível abastecido. Se adotarmos como critério apenas os automóveis e comerciais leves do ciclo Otto, pode-se observar que o aumento das emissões de NMHC com a soma das estimativas de evaporação no abastecimento é de 28%. Com isso a estimativa do aumento nas emissões de COV é de 22%, representando um aumento significativo nas emissões desses compostos geradores de ozônio.

Recomenda-se a realização de estudos para desenvolver fatores de emissão de abastecimento de veículos comercializados no Brasil, utilizando-se combustível padrão brasileiro, tendo em vista a importância desses valores para uma melhor estimativa da situação real das emissões de COV.

## REFERÊNCIAS

1 OKANO, O.; BUGALHO, N.; SANTOS, C. R.; SOGABE, M. N. A poluição causada pelas emissões evaporativas de gasolina. **Revista meio ambiente industrial**, [S.l.], v.105, p. 76-88, set/out 2013.

2 WHO. **Review of evidence on health aspects of air pollution – REVIHAAP Project**: Technical Report. Copenhagen, 2013. Disponível em: <[http://www.euro.who.int/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0004/193108/REVIHAAP-Final-technical-report-final-version.pdf?ua=1](http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0004/193108/REVIHAAP-Final-technical-report-final-version.pdf?ua=1)>. Acesso em: 10 dez. 2014.

3 CETESB. **Estudo do comportamento do ozônio na região metropolitana de São Paulo**. São Paulo, SP, 2000. 70p. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/ar/qualidade-do-ar/31-publicacoes-e-relatorios>>. Acesso em: 10 dez. 2014.

4 MMA. **Poluentes atmosféricos**. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/qualidade-do-ar/poluentes-atmosf%C3%A9ricos#Hidrocarbonetos>>. Acesso em: 10 dez. 2014.

5 EPA. **Interim VOC Measurement Protocol for the Wood Products Industry**. Disponível em: <<http://www.epa.gov/ttn/emc/prelim/otm26.pdf>>. Acesso em: 11 dez. 2014.

6 MMA. **1º Inventário nacional de emissões atmosféricas por veículos automotores rodoviários**: Relatório final. [Brasília-DF],2011.

7 CETESB. **Qualidade do ar no Estado de São Paulo 2013**. São Paulo, SP, 2014. 110p. (Série relatórios). Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/ar/qualidade-do-ar/31-publicacoes-e-relatorios/relatorio-ar-2013.pdf>>. Acesso: 10 dez. 2014.

8 CETESB. **Relatório de emissões veiculares do estado de São Paulo 2013**. São Paulo, SP, 2014. 158p. (Série relatórios). Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/ar/emissoes/relatorio-emissoes-veiculares-2013.pdf>>. Acesso: 10 dez. 2014.

9 SZWARC, A.; FARAH, E. L.; BRANCO, G. M.; BRANCO, F. C. Redução da emissão evaporativa do veículo em movimento e no reabastecimento de combustível. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE ENGENHARIA AUTOMOTIVA, 22., 2014, São Paulo. **Anais eletrônicos...** São Paulo: AEA, 2014. Disponível em: <<http://www.proceedings.blucher.com.br/pdf/engineeringproceedings/simea2014/105.pdf>>. Acesso em: 12 dez. 2014.

10 ANP. **Portaria ANP nº 309, de 27 de dezembro de 2001**. Estabelece as especificações para a comercialização de gasolinas automotivas em todo o território nacional e define obrigações dos agentes econômicos sobre o controle de qualidade do produto. Com alterações posteriores. Disponível em: <[http://nxt.anp.gov.br/NXT/gateway.dll/leg/folder\\_portarias\\_anp/portarias\\_anp\\_tec/2001/dezembro/panp%20309%20-%202001.xml](http://nxt.anp.gov.br/NXT/gateway.dll/leg/folder_portarias_anp/portarias_anp_tec/2001/dezembro/panp%20309%20-%202001.xml)> Acesso em: 10 dez. 2014.

11 **NBR 11841**: Veículos rodoviários automotores leves — Medição de emissão evaporativa. Rio de Janeiro, 2010.