

# Caracterização das emissões de aldeídos de veículos do ciclo diesel

## Emission of aldehydes from light duty diesel vehicles

Rui de Abrantes<sup>a</sup>, João V de Assunção<sup>b</sup> e Edegar Yoshio Hirai<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Laboratório de veículos. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (Cetesb). São Paulo, SP, Brasil. <sup>b</sup>Departamento de Saúde Ambiental. Faculdade de Saúde Pública. Universidade de São Paulo. São Paulo, SP, Brasil

---

### Descritores

Substâncias perigosas. Aldeídos. Acetaldeído. Formaldeído. Emissões de veículos. Poluição do ar.

### Resumo

#### Objetivo

Caracterizar as emissões de acetaldeído e formaldeído, substâncias nocivas para a saúde das pessoas e cujas emissões dos veículos a diesel ainda não estão regulamentadas.

#### Métodos

Testes padronizados foram realizados em quatro veículos leves comerciais do ciclo diesel, testados num dinamômetro de chassis, usando o procedimento de teste FTP-75. Os poluentes foram analisados por cromatografia líquida de alta eficiência.

#### Resultados

Os resultados mostraram que a emissão de acetaldeído variou de 5,9 a 45,4 mg/km e a de formaldeído variou de 16,5 a 115,2 mg/km. A emissão média para a soma dos aldeídos foi de 58,7 mg/km, variando de 22,5 mg/km a 160 mg/km. A proporção entre os dois se manteve constante, próximo de 74% de formaldeído e 26% de acetaldeído.

#### Conclusões

A emissão de aldeídos provenientes de veículos movidos a diesel foi significativa quando comparada com as emissões reais dos veículos de ignição por centelha ou com o limite previsto para os veículos do ciclo Otto na legislação brasileira. O estabelecimento de limites de emissão para essas substâncias para veículos a diesel mostra-se importante, considerando o crescimento da frota de veículos a diesel, a toxicidade desses compostos e sua participação como precursores nas reações de formação de gás ozônio na baixa troposfera.

### Keywords

Hazardous substances. Aldehydes. Acetaldehyde. Formaldehyde. Vehicle emissions. Air pollution.

### Abstract

#### Objective

To characterize acetaldehyde and formaldehyde emissions, which are harmful gases to human health and not yet regulated for diesel engines.

#### Methods

Standardized tests were performed in four diesel light duty commercial vehicles, using a frame dynamometer and test procedure FTP-75. The pollutants were analyzed by high performance liquid chromatography.

#### Results

Results have shown acetaldehyde emission ranged from 5.9 to 45.4 mg/km, and formaldehyde emission from 16.5 to 115.2 mg/km. The average emission for aldehyde

---

**Correspondência para/ Correspondence to:**  
Rui de Abrantes  
Av. Prof. Frederico Hermann Jr., 345 Pinheiros  
05459-900 São Paulo, SP, Brasil  
E-mail: ruia@cetesb.sp.gov.br

Baseado na dissertação de mestrado apresentada à Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo, em 2002.

Recebido em 2/3/2004. Reapresentado em 10/9/2004. Aprovado em 9/11/2004.

*sum was 58.7 mg/km, ranging from 22.4 to 160.6 mg/km. The proportion between the two substances remained constant, close to 74% for formaldehydes and 26% for acetaldehydes.*

#### **Conclusions**

*The emission of diesel vehicle aldehydes was significant when compared with actual spark ignition vehicle emissions, or with the foresee limit for Otto cycle vehicles in Brazilian legislation. Establishing emission limits for these substances also in diesel vehicles is imperative in the light of the vehicle fleet growth, toxicity of these compounds, and their contribution as precursors in ozone gas formation reactions in low troposphere.*

## INTRODUÇÃO

Da frota de veículos automotores da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), 5,9% era movida a óleo diesel no ano de 2002. Entretanto, sua participação relativa na emissão das fontes móveis foi de 83% de óxidos de nitrogênio (NOx), 53% de óxidos de enxofre (SOx) e 77% de material particulado (MP). Isso sem considerar a participação decorrente de emissões pelo desgaste de pneus e 18,4% de hidrocarbonetos totais.<sup>5</sup>

Em função do aumento do uso de peruas no transporte público, escolar e em serviços de pequenas entregas, entre outros, a frota de veículos leves comerciais a diesel na RMSP tem apresentado crescimento expressivo correspondente a 5,7% ao ano. Esse aumento foi muito maior que a média de crescimento da frota mundial de veículos dos últimos 10 anos, que foi de 2,6% ao ano.<sup>4</sup>

A emissão de alguns poluentes dos veículos a diesel (hidrocarbonetos totais, óxidos de nitrogênio, óxidos de enxofre, material particulado, entre outros) já está regulamentada no Brasil. Apesar disso, essa alta taxa de crescimento, associada a resultados de estudos epidemiológicos, trazem novas preocupações em relação à saúde da população no que se refere à exposição aos aldeídos. Isso por que a legislação limita a emissão desses poluentes somente para os veículos de ignição por centelha, ou seja, os veículos movidos a gasolina, álcool ou gás.<sup>7</sup>

Os aldeídos apresentam capacidade de irritar os olhos e as vias aéreas superiores em humanos, podem causar dores de cabeça, sensação de desconforto e de irritabilidade. Há relatos de incidência de asma causada por irritação no trato respiratório superior devido à exposição ao formaldeído.

Ainda são potenciais causadores de danos à flora, inclusive a hortaliças, e a fauna, principalmente aos organismos unicelulares que são relativamente sensíveis ao formaldeído.<sup>12,13</sup>

Os aldeídos podem participar de reações na atmosfera, gerando outros compostos. Dentre complexas reações químicas que ocorrem na atmosfera, destaca-se a formação do *smog* fotoquímico, com geração maior de gases oxidantes, nos quais predomina o gás ozônio. Os gases oxidantes, além de causarem danos respiratórios aos humanos, são causadores de danos aos materiais, atacando principalmente borrachas.<sup>12</sup>

As elevadas concentrações de gás ozônio têm sido motivo de atenção em vários grandes centros urbanos, dos quais destaca-se a RMSP, que nos últimos anos tem apresentado freqüentes violações do padrão de qualidade do ar, em várias estações de medição.<sup>5</sup>

Medições esporádicas na atmosfera do Município de São Paulo pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (Cetesb), em 1997 mostraram valores máximos de 40 ppb de acetaldeído e 77 ppb de formaldeído,<sup>5</sup> valores não muito diferentes dos encontrados por Montero et al<sup>8</sup> que em 1999 encontrou valores máximos de 56,6 ppb de acetaldeído e 46,6 ppb de formaldeído. A Organização Mundial da Saúde (OMS)<sup>14</sup> recomenda o limite equivalente a 86,5 ppb de formaldeído, para um tempo de exposição máximo de 30 min para a população.

O objetivo do presente trabalho foi identificar e quantificar dois dos principais aldeídos emitidos em veículos comerciais leves movidos a óleo diesel. Além disso, comparar os resultados com a emissão média dos veículos do ciclo Otto e com os limites estabelecidos na legislação brasileira para veículos de ignição por centelha.

Pretende-se com o presente artigo fornecer subsídios para regulamentação da emissão de aldeídos e para proteção da saúde pública no Brasil.

## MÉTODOS

Foram submetidos a testes padronizados quatro veículos comerciais leves movidos a óleo diesel —

**Tabela 1** - Características dos veículos testados.

Veículo	Tipo	Ano	Quilometragem acumulada (km)	Deslocamento volumétrico (L)	Massa (kg)	Potência (kW)
A	Pick-up	1995	31182	2,8	1758	64
B	Micro ônibus	1995	101646 / 2831*	2,7	2041	55
C	Micro ônibus	1997	22888	3,1	2020	85
D	Micro ônibus	1998	43697	3,1	1990	85

\*Após o motor ter sido retificado

(três peruas e uma *pick-up*) — em dinamômetro de chassis Clayton, modelo ECE-50, no Laboratório de Emissões Veiculares da Cetesb. Esse dinamômetro é capaz de simular as condições de uso do veículo em pista. A Tabela 1 mostra as principais características dos veículos utilizados.

Para cada veículo foram realizados dois testes. Os veículos foram testados conforme Norma brasileira ABNT/NBR 6601,<sup>2</sup> cujo ciclo de condução é idêntico ao procedimento americano de teste USEPA FTP-75.<sup>11</sup> Esse procedimento de teste padronizado simula as condições urbanas de dirigir e é dividido em três fases, denominadas de fase fria, de estabilização e quente. Foi realizada também a medição do consumo de combustível dos veículos, conforme norma ABNT/NBR 7024.<sup>3</sup>

Dentre as variáveis que podem interferir nos resultados de um ensaio de veículo, estão a regulagem do veículo e o combustível, razão pela qual as normas de ensaios especificam a utilização de combustível padronizado, a fim de se reduzir a dispersão dos resultados. Isso é realizado principalmente em ensaios de homologação de veículos onde busca-se avaliar exclusivamente o veículo sendo que a repetibilidade do combustível se faz necessária.

Buscou-se conhecer a quantidade real de poluentes que provém de veículos em uso, inclusive com toda a variabilidade que um combustível sem padronização ou veículos sem serem previamente regulados pudessem trazer. Para tanto, foi utilizado óleo diesel comercial, em vez de óleo diesel padronizado para ensaios. Os veículos foram testados sem nenhum tipo de regulagem prévia para caracterizar a quantidade efetiva de aldeídos lançados na atmosfera.

Como indicado na Figura 1, os gases do escapamento foram amostrados após serem misturados e homogeneizados com o ar ambiente, de acordo com as recomendações do método CFR 40.<sup>11</sup> Foi utilizado sistema amostrador de volume constante por venturi crítico (Horiba CVS-CFV, modelo 20A) com túnel de diluição total. Esse túnel de diluição era composto por duto de aço inoxidável, cujo diâmetro promovia a vazão em re-

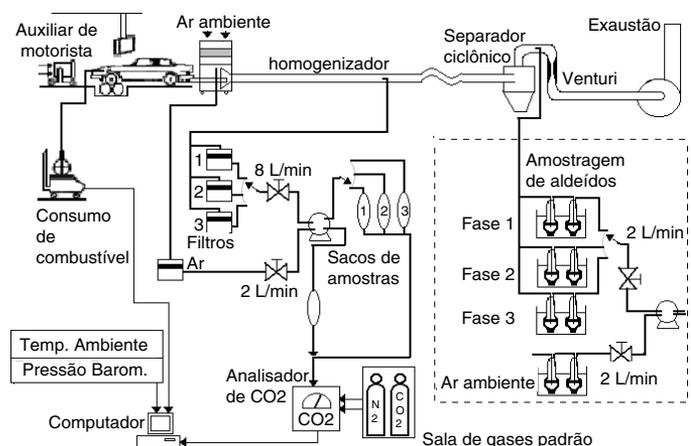
gime turbulento para homogeneizar a mistura das emissões com ar ambiente.

Uma câmara de mistura de ar ambiente também foi utilizada, com ar de diluição previamente filtrado por dois filtros para partículas e um para compostos orgânicos (hidrocarbonetos). Essa câmara foi posicionada o mais próximo possível dos veículos, a fim de evitar a condensação de água no sistema de amostragem.

O ponto de amostragem foi posicionado após o separador ciclônico, no centro, voltado à montante, conforme Figura 1. Uma parcela diluída do gás de escapamento foi borbuhada em frascos lavadores de gases, contendo solução absorvente, com vazão de dois litros por min, conforme as recomendações do método ABNT/NBR 12026.<sup>1</sup>

A fim de se conhecer as emissões reais dos veículos, foram montados dois frascos lavadores de gases em série para cada fase do ensaio e dois frascos em série para coleta do ar ambiente, para descontar a concentração ambiente do total medido, totalizando oito frascos. Os frascos foram posicionados numa cuba contendo água gelada, cuja temperatura variou de 2°C a 6°C. O ponto de amostragem do ar ambiente foi posicionado junto ao próprio amostrador de aldeídos.

Cada frasco lavador de gás continha 25 ml de solu-



**Figura 1** - Diagrama de teste dos veículos, mostrando os pontos de coleta das amostras de aldeídos e de gás carbônico.

**Tabela 2** - Autonomia de combustível e emissão de aldeídos nos veículos testados por quilômetro rodado e por consumo de combustível, segundo veículo e ensaio.

Veículos	Ensaio	Autonomia de combustível	Emissão de acetaldeído*	Emissão de formaldeído*	Soma dos aldeídos*	Emissão de Aldeídos em função do consumo de combustível
		[km/L]	[mg/km]	[mg/km]	[mg/km]	[mg/L]
Veículo A	1º ensaio	9,618	45,421	115,200	160,621	1406,402
	2º ensaio	9,011	31,689	89,156	120,845	993,477
	Média	9,315	38,555	102,178	140,733	1199,940
Veículo B 1ª vez	1º ensaio	6,650	9,524	26,214	35,739	250,605
	2º ensaio	6,538	8,663	25,330	33,992	221,991
	Média	6,594	9,094	25,772	34,866	236,298
Veículo B 2ª vez	3º ensaio	6,688	16,663	50,558	67,221	428,326
	4º ensaio	6,745	17,986	53,293	71,279	452,038
	Média	6,717	17,324	51,926	69,250	440,182
Veículo C	1º ensaio	7,732	7,004	20,081	27,085	204,843
	2º ensaio	7,795	6,565	17,611	24,176	176,485
	Média	7,764	6,784	18,846	25,630	190,664
Veículo D	1º ensaio	7,096	5,907	16,544	22,450	151,006
	2º ensaio	7,127	5,897	17,521	23,418	161,217
	Média	7,112	5,902	17,032	22,934	156,111
Todos os veículos	Média	7,500	15,532	43,151	58,683	444,639
	DP	1,059	13,265	34,350	47,573	422,915

DP: desvio-padrão

\*De acordo com CFR 40 (1977)

ção de absorção para aldeídos, de maneira que a presença de aldeídos no gás de escapamento promove-se a formação de derivados carbonílicos.

A solução de absorção foi preparada na proporção de 150 mg de 2,4 dinitrofenilhidrazina (pureza igual a 99%, CAS 119-26-6) para cada litro de acetonitrila (grau HPLC, pureza maior que 99,9%, CAS 75-05-8), acrescido de cinco gotas de solução de ácido perclórico, na proporção de 170 ml de ácido perclórico (PA 70%, fórmula HClO<sub>4</sub>, CAS 7601-90-3 para cada litro de água destilada e deionizada. As amostras foram injetadas no mesmo dia da amostragem.

Os gases, após filtração, foram coletados em sacos plásticos inertes (*tedlar*) para quantificação do gás carbônico (CO<sub>2</sub>).

O método utilizado para determinação das concentrações dos derivados carbonílicos baseou-se na proporcionalidade das áreas sob os picos cromatográficos relativos ao padrão e à amostra. Os derivados carbonílicos foram separados, identificados e quantificados em cromatógrafo líquido de alto desempenho (HPLC), contendo um detetor ultravioleta visível (UV/VIS).

O HPLC foi equipado com uma bomba Waters modelo 6000A e um detetor de ultravioleta visível Jasco modelo UV-970, com comprimento de onda de 365 nm. Utilizou-se uma coluna de fase reversa do tipo octadecilsilano (O.D.S.) — C 18 de 25 cm x 4,6 ID x 5 µm e uma fase móvel isocrática na proporção de 65% de acetonitrila e 35% de água destilada em volume, a uma vazão de 1 mL/min.

Para a determinação da faixa de linearidade dos aldeídos foi preparada uma solução estoque, dissolvendo-se o padrão de formaldeído (pureza 99%, CAS 1081-15-8) e de acetaldeído (pureza 99%, CAS 1019-57-4) em acetonitrila, com posterior homogeneização. A partir dessa solução foram feitas cinco diluições diferentes e foram realizadas cinco injeções de cada solução. Por meio de regressão linear foi determinada a faixa de linearidade de cada aldeído, utilizando-se como critério o coeficiente de correlação (r<sup>2</sup>) maior ou igual a 0,9999.

Para o acetaldeído utilizou-se a faixa de linearidade de 20,20 a 1.010 µg/L, sendo que o maior desvio-padrão encontrado em um dos pontos da curva de calibração foi 0,01436 µg/L. Para o formaldeído utilizou-se a faixa de linearidade de 19,86 a 993 µg/L, sendo que o maior desvio-padrão encontrado em um dos pontos da curva de calibração foi 0,02057 µg/L.

Para a determinação do limite de detecção de cada aldeído, considerou-se três vezes o desvio-padrão obtido em relação ao menor mensurando, sendo que o valor encontrado para o acetaldeído foi 0,30 µg/L e para o formaldeído 0,67 µg/L.

Para a determinação do limite de quantificação de cada aldeído, considerou-se dez vezes o desvio-padrão obtido em relação ao menor mensurando; sendo que o valor encontrado para o acetaldeído foi 1,00 µg/L e para o formaldeído 2,23 µg/L.

Utilizou-se como o padrão diário de calibração uma das diluições da solução estoque, cuja concentração mais se aproximava à das amostras.

## RESULTADOS

A Tabela 2 mostra os resultados de todos os ensaios realizados. A emissão de acetaldeído de todos os veículos testados variou de 5,9 até 45,4 mg/km, e a emissão de formaldeído variou de 16,5 até 115,2 mg/km. A soma de ambos os aldeídos variou de 22,4 a 160,6 mg/km, enquanto que a emissão da soma de aldeídos em relação ao consumo de combustível variou de 151,0 a 1406,4 mg/L.

## DISCUSSÃO

Comparando-se as médias da autonomia urbana\* do veículo B, antes e após a retífica do motor, verifica-se que estas foram de 6,6 km/L para os dois primeiros ensaios antes da retífica e de 6,7 km/L para os dois ensaios seguintes à retífica, uma melhora praticamente inexpressiva de quase 2%. No entanto, a emissão média da soma de aldeídos foi de 34,9 mg/km para 69,2 mg/km, aumento de praticamente 100%. Esse valor inesperado denota a necessidade de aprofundar esse tipo de avaliação, pois em motores bem regulados normalmente espera-se baixa emissão de poluentes. Embora, de acordo com Turns<sup>10</sup> o aparecimento de formaldeído pode ser explicado a partir da oxidação estequiométrica do metano ou do propano (obtidos pelo craqueamento do combustível) com o ar em temperaturas elevadas, pois surgem os radicais O, H e OH que atacam o metano e o propano.

Sjogren<sup>9</sup> estudou a emissão de dois motores a diesel com várias relações ar/combustível, e encontrou valores que variaram de 6,2 a 128 mg/km de acetaldeído e 4,8 a 258 mg/km de formaldeído. Esses resultados mostram amplitude muito maior, assim como os valores máximos chegaram a mais do que o dobro que os obtidos no presente trabalho. Entretanto tais diferenças devem-se a diferenças no ciclo de condução (*bus cycle*) que alteram o perfil da emissão dos poluentes e às várias relações ar/combustível, que faz com que exista excesso de combustível ou de oxigênio para a adequada combustão.

Desde 1992, a legislação brasileira, pelo Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (Proconve), passou a exigir dos veículos leves de passageiros novos do ciclo Otto, o limite de emissão da soma de aldeídos de 150 mg/km. Em 1997, esse limite foi reduzido para 30 mg/km, ou seja, redução de 80%. Em 1998, esse mesmo programa passou a exigir dos veículos leves comerciais novos do ciclo Otto, o mesmo limite de 30 mg/km para os veículos

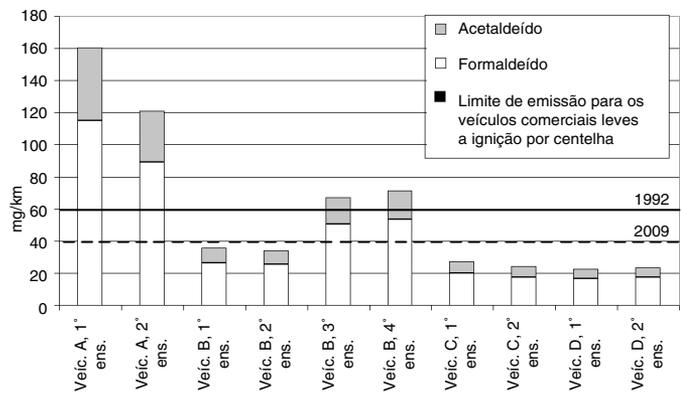


Figura 2 - Emissão de formaldeído e acetaldeído por veículo, ensaio e comparação com os limites do Proconve em 1992 e 2009.

com massa para ensaio de até 1.700 kg e o limite de emissão de 60 mg/km para os veículos com massa para ensaio maior que 1.700 kg.<sup>7</sup>

A partir de 2009 está prevista a redução do limite de emissão de aldeídos para 20 mg/km para essas mesmas categorias de veículos, com massa menor ou igual a 1.700 kg e para os veículos com massa superior a essa, 40 mg/km. Todavia, não foi prevista nenhuma inclusão quanto a emissão de aldeídos para os veículos do ciclo diesel.<sup>6</sup>

Quando comparadas com as emissões reais dos veículos leves de ignição por centelha fabricados em 1995, vê-se que de maneira geral, os veículos a diesel emitem mais aldeídos que os veículos a gasolina e apresentam a mesma ordem de magnitude que os veículos a álcool. Isso considerando o fator médio de emissão para veículos a gasolina de 25 mg/km e para os veículos a álcool a emissão média é de 42 mg/km.<sup>5</sup>

Nos primeiros anos de implantação do Proconve considerou-se desprezível a emissão de aldeídos dos veículos a diesel, pois comparados aos veículos de mesma categoria do ciclo Otto, sua emissão era bem menor. Entretanto, de acordo com a Figura 2, verificou-se que, dos quatro veículos ensaiados, dois violaram o limite de 60 mg/km para veículos a centelha, um após o motor ter sido retificado e o outro com 31.000 km originais. Os outros dois emitiram em média aproximadamente 46% do limite já estabelecido para veículos de ignição por centelha de mesma categoria.

No Brasil ainda não foram desenvolvidos estudos para se determinar os fatores de deterioração relacionados a emissão dos aldeídos por veículos a diesel, considerado de importância, posto que é necessário conhecer melhor o perfil de emissão desses compostos para a atmosfera.

\*Autonomia urbana é o inverso do consumo urbano, conforme norma NBR 7024 (ABNT,<sup>2</sup> 1990).

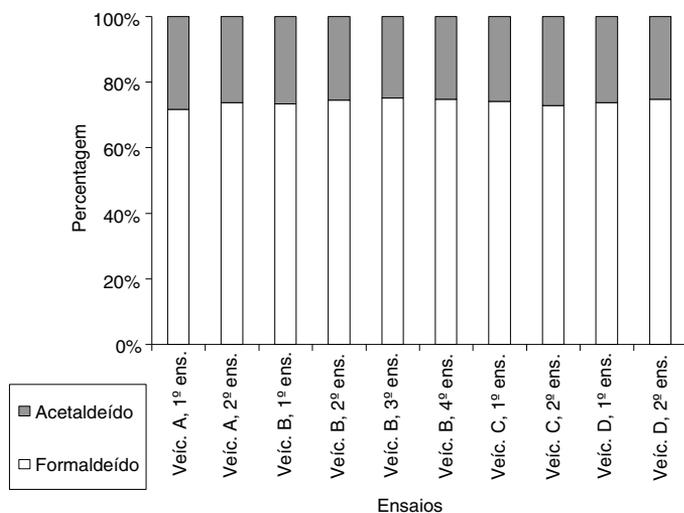


Figura 3 - Participação da emissão de acetaldeído e de formaldeído (%), por veículo testado e por ensaio.

casos, os veículos a diesel da categoria testada emitem muito mais aldeídos do que os veículos de ignição por centelha. Esses últimos já estão sendo equipados com conversores catalíticos, que reduzem significativamente a emissão dos poluentes.

Embora as diferenças de emissão da soma de aldeídos tenham sido significativas de um veículo para outro, pela Análise de Variância (ANOVA) confirma-se que a média da emissão dos aldeídos foi diferente entre os veículos ( $F^*=28 > Fc^{**}=6,6$ ). A proporção entre acetaldeído e formaldeído foi praticamente a mesma,

nos 10 ensaios realizados, pois se manteve em torno de 74% de formaldeído e 26% de acetaldeído, como mostra a Figura 3.

Seria relevante a realização de estudos com amostras maiores, inclusive com ensaios realizados em dinamômetro de motores e com outras categorias de veículos, para detalhar o perfil das emissões de aldeídos da frota dos veículos a diesel em uso, determinar o fator de deterioração desses veículos, bem como criar um inventário das emissões de poluentes.

Finalmente, o presente trabalho mostra que a emissão de aldeídos dos veículos a diesel é significativa e importante, sendo necessário o estabelecimento de limite de emissão para essas substâncias também para estes tipos de veículos, a exemplo de como foi feito para os veículos de ignição por centelha. Nestes, a restrição estabelecida pela legislação nacional mostrou ser eficiente e trouxe melhorias ambientais, sobretudo com a utilização de conversores catalíticos. Sua importância é reforçada ao considerar o crescimento desta frota, somado ao fato de que os aldeídos apresentam riscos para a saúde humana, contribuem para o aumento das taxas de morbidade e mortalidade da biota, além de participarem significativamente nas reações fotoquímicas de formação de ozônio na baixa troposfera.

## REFERÊNCIAS

1. Associação Brasileira de Normas Técnicas [ABNT]. NBR 12026: veículos rodoviários automotores leves: determinação da emissão de aldeídos e cetonas contidas no gás de escapamento, por cromatografia líquida – Método DNPH. Rio de Janeiro; 1997. p. 10.
2. Associação Brasileira de Normas Técnicas [ABNT]. NBR 6601: Veículos rodoviários automotores leves – Determinação de hidrocarbonetos, monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio e dióxido de carbono no gás de escapamento. Rio de Janeiro; 2001. p. 29.
3. Associação Brasileira de Normas Técnicas [ABNT]. NBR 7024, de 1989: veículos rodoviários automotores leves: medição do consumo de combustível. Rio de Janeiro; 1990. p. 9.
4. Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores [Anfavea]. Anuário estatístico da indústria automobilística brasileira 2000 [relatório online]. Disponível em: URL: <http://www.anfavea.com.br/Index.html> [27 mai 2003]
5. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental [Cetesb]. Relatório de qualidade do ar no Estado de São Paulo 2001. São Paulo; 2002. p. 130.
6. Conselho Nacional de Meio Ambiente [CONAMA]. Resolução n. 315, de 29 out 2002: Dispõe sobre as novas etapas do Programa de Controle de Poluição do Ar por veículos Automotores [Proconve]. Brasília (DF): Diário Oficial da União; 15 mar 2002.

\*F: Fator calculado no teste ANOVA.

\*\*Fc: Fator crítico no teste ANOVA.

7. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis [Ibama]. Programa de controle da poluição do ar por veículos automotores (Proconve). 2ª ed. Brasília (DF); 1998. p. 181. [Coleção Meio Ambiente. Série Diretrizes - Gestão ambiental, 2]
8. Montero L, Vasconcellos PC, Souza SR, Pires MA, Coylo ORS, Andrade MF et al. Measurements of atmospheric carboxylic acids and carbonyl compounds in São Paulo city, Brazil. *Environ Sci Technol* 2001;35:3071-81.
9. Sjögren M, Li H, Rannug U, Westerholm R. Multivariate analysis of exhaust emissions from heavy-duty diesel fuels. *Environ Sci Technol* 1996;30:38-49.
10. Turns SR. An introduction to combustion: concepts and applications. New York: McGraw-Hill; 1996. p. 128-49.
11. United States of America. Code Federal Regulations. CFR 40 part 86 sub part B. Emission regulations for 1977 and later model year new light-duty vehicles and new light-duty trucks; test procedures. Available from URL: [http://www.access.gpo.gov/nara/cfr/waisidx\\_99/40cfr86\\_99.html](http://www.access.gpo.gov/nara/cfr/waisidx_99/40cfr86_99.html) [2000 Apr 12]
12. World Health Organization (WHO). Acetaldehyde. Geneva; 1995. [International Programme on Chemical: Safety Environmental Health Criteria, 167]
13. World Health Organization (WHO). Formaldehyde. Geneva; 1989. [International Programme on Chemical Safety: Environmental Health Criteria, 89]
14. World Health Organization (WHO). Update and revision of WHO air quality guidelines for Europe [report on-line]. Available from URL: <http://www.who.nl/index1.htm> [2001 Out 17]