

# ANÁLISE DAS EMISSÕES DE VEÍCULOS LEVES NA CIDADE DE MARINGÁ NO ANO DE 2004

**Ed Pinheiro Lima**

**Marcelino Luiz Gimenes**

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química  
Universidade Estadual de Maringá

**Sergio Henrique Demarchi**

Departamento de Engenharia Civil  
Universidade Estadual de Maringá

## RESUMO

Neste artigo a metodologia da CETESB é utilizada para analisar as emissões dos principais poluentes (HC, CO e NOx) dos veículos a álcool e a gasolina na cidade de Maringá – Paraná. Fatores médios de emissão, corrigidos pelos respectivos fatores de deterioração de cada poluente e a distância média percorrida pela frota, foram utilizados para obter a emissão de cada poluente. A frota considerada é constituída pelos veículos cadastrados no DETRAN-PR com ano-modelo igual ou superior à 1975. Em relação ao perfil da frota da cidade, observou-se que existe uma maior concentração de veículos mais recentes a gasolina e o quase desaparecimento dos veículos a álcool. Observou-se também que a frota cadastrada com ano-modelo inferior à 1988, representando apenas 18% da frota considerada, contribuiu com mais de 70% das emissões de CO, 62% das emissões de HC e 36% das emissões de NOx no caso dos veículos a gasolina.

## ABSTRACT

In this paper the CETESB's methodology is used to analyze the emissions of HC, CO and NOx, the main pollutants emitted by alcohol and gas automobiles in the city of Maringá, Paraná. Emissions were obtained from calculations using average emission factors, corrected by deterioration factor of each pollutant type and the average distance traveled by the fleet. The fleet is comprised by vehicles assembled after 1975. Regarding the city's fleet profile, it was observed a high concentration of recent vehicles that uses gasoline as fuel and almost the disappearance of those using alcohol. It was observed that old gasoline vehicles assembled before the year of 1988 represents only 18% of the considered fleet, but they contribute with more than 70% of CO emissions, 62% of HC emissions and 36% of NOx emissions.

## 1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento urbano tem agravado o problema da poluição atmosférica. Das fontes emissoras de poluentes presentes nos centros urbanos, os veículos de combustão interna representam uma das maiores preocupações. Dentre os principais poluentes emitidos pelos veículos de combustão interna estão o monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos (HC), óxidos de nitrogênio (NOx), materiais particulados (MP) e, em menor quantidade, o dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), além dos aldeídos (RCHO).

Estes poluentes primários têm efeitos locais e regionais e proporcionam, sob certas condições meteorológicas, a formação de poluentes secundários na atmosfera, como o ozônio troposférico (O<sub>3</sub>), cuja formação está associada aos hidrocarbonetos (HC) e óxidos de nitrogênio (NOx). Além dos efeitos regionais, as emissões veiculares também podem ter efeitos globais, como o caso do efeito estufa, onde as emissões veiculares de CO<sub>2</sub> têm grande participação no aumento da concentração deste gás.

Diante do problema apresentado pelas emissões veiculares, o governo americano estabeleceu no início da década de 1970, através do *Clean Air Act* (CAA70), a redução gradativa das emissões, mas somente com o *New Clean Air Act* no início da década de 1990 é que rigorosas exigências foram feitas aos automóveis para a redução de HC, CO, NOx e material

particulado (Ahn, 1998). No Brasil, o CONAMA instituiu o PROCONVE em 1986, com a base técnica da CETESB, para contribuir no controle das emissões veiculares através da implantação gradativa de novas tecnologias, tendo sido responsável por uma redução significativa nos níveis de emissão veicular (IBAMA, 2004).

Neste artigo, a metodologia da CETESB será adotada para a estimativa das principais emissões veiculares na cidade de Maringá em 2004, analisando, quando possível, o quanto esta metodologia pode ou não refletir as emissões para a cidade. Este artigo apresenta primeiramente uma breve descrição das emissões veiculares em relação aos poluentes e seus efeitos. A seção seguinte descreve a metodologia adotada neste trabalho, seguida pelos resultados das emissões estimadas, análises e suas conclusões.

## **2. EMISSÕES VEICULARES**

De acordo com a origem, as emissões veiculares dos motores de ciclo Otto podem ser de escape ou evaporativas. As emissões evaporativas, que podem ter origem através do cárter, do carburador e do tanque de combustível, são constituídas de hidrocarbonetos (HC). As emissões de escape se constituem, principalmente, dos poluentes resultantes do processo de combustão, monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos (HC) e óxidos de nitrogênio (NOx), além do gás de efeito estufa (GEE) dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

O monóxido de carbono (CO) é produto intermediário no processo de combustão do carbono em CO<sub>2</sub> mas, no caso de não haver uma quantidade suficiente de O<sub>2</sub> na relação ar/combustível, será produto final. Apesar de ser inodoro e incolor, o CO é venenoso devido à afinidade muito maior do que a do oxigênio com a hemoglobina do sangue, formando a carboxihemoglobina, o que diminui a capacidade de transportar oxigênio dos pulmões até os órgãos e tecidos. Em altas concentrações, o risco de problemas cardiovasculares pode aumentar, assim como pode haver o impedimento das funções psicomotoras, sendo que crianças, pessoas idosas e com problemas respiratórios e cardiovasculares as mais suscetíveis à estes problemas (EPA, 2003). Segundo estimativas da EPA (2003), em todo os Estados Unidos, as emissões de CO originadas da exaustão dos veículos chegam aos 60%, sendo que, em situações de tráfego pesado nas cidades, esta contribuição pode chegar aos 95%. Segundo a CETESB (2005), na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) a contribuição de CO originado dos veículos de ciclo Otto em 2004 foi de 59% e de ciclo Diesel 24%.

Segundo De Nevers (1995), pode-se encontrar hidrocarbonetos (HC) não queimados na exaustão dos motores de combustão interna de ciclo Otto em todas as situações de mistura ar/combustível. Na atmosfera, Os hidrocarbonetos (HC) reagem à presença dos óxidos de nitrogênio (NOx) e à luz solar para formar o ozônio troposférico e contribuir para a formação da névoa fotoquímica, ou SMOG. Além disso, um grande número de HC, como o benzeno, é carcinogênico. Segundo estimativas da EPA (2003), as emissões veiculares em rodovias contribuem com 29% do total de HC emitidos nos EUA. Segundo a CETESB (2005), na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) a contribuição de HC originada dos veículos de ciclo Otto em 2004 foi de 67% e dos de ciclo Diesel 16%.

O termo óxidos de nitrogênio (NOx) descreve a soma dos gases monóxido de nitrogênio (NO) e dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>), dois dos componentes de nitrogênio mais emitidos em processos de combustão. A maioria dos NOx é incolor e inodora, mas o NO<sub>2</sub> é um gás

altamente reativo, que pode ser visto no ar como uma camada marrom avermelhada sobre muitas áreas urbanas (Cappiello, 2002). Uma vez lançados para a atmosfera, os óxidos de nitrogênio, ao entrarem em contato com a umidade, amônia e outros compostos, formam o ácido nítrico, que pode causar sérios problemas respiratórios. Este ácido nítrico, em conjunto com as emissões de SO<sub>2</sub>, contribui na formação de material particulado e, com o H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> formado a partir da emissão de SO<sub>2</sub>, representam os maiores constituintes da chamada chuva ácida (Cappiello, 2002; Carvalho e Lacava, 2003). Além da chuva ácida, a ação da luz solar sobre o NO<sub>2</sub> liberado no meio ambiente provoca transformações fotoquímicas que levam à formação do ozônio (O<sub>3</sub>) troposférico. A EPA (2003) estima que o setor de transporte foi o responsável por 56% do total de NO<sub>x</sub> emitido nos EUA em 2002. Segundo a CETESB (2005), na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), em 2004, a contribuição de NO<sub>x</sub> originada dos veículos de ciclo Otto foi de 16% e dos de ciclo Diesel 80%.

O dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), é o produto desejado no processo de combustão e é encontrado naturalmente na atmosfera. Contudo, a sua presença de forma não natural contribui com o problema de aquecimento global devido a este ser um dos gases de efeito estufa (GEE). Segundo a EPA (2004), as emissões de CO<sub>2</sub> representaram em torno de 83% das emissões dos GEE nos EUA em 2002, sendo que a contribuição do setor de transportes representou 31% das emissões de CO<sub>2</sub> originadas da combustão de combustíveis fósseis.

### 3. METODOLOGIA

Neste estudo, serão analisadas as emissões para os poluentes HC, CO, NO<sub>x</sub>, além do gás de efeito estufa CO<sub>2</sub>, para o ano de 2004 para os veículos leves de passeio (VLP) utilizando dois tipos de combustível, álcool hidratado e gasolina. Para a estimativa das emissões de HC, CO e NO<sub>x</sub> é adotado o modelo elaborado em La Rovere (2002), que adota uma abordagem *bottom-up* (Tier-2) e se baseia na metodologia da CETESB. Em relação às emissões de CO<sub>2</sub>, segundo Álvares e Linke (2004), as emissões dos gases de efeito estufa (GEE) de fontes móveis são melhor calculadas pela abordagem *top-down* (Tier-1), ou seja, pela quantidade queimada de combustível, seu teor carbônico e as emissões correspondentes de CO<sub>2</sub>, sendo mais precisa que a abordagem *bottom-up*. Segundo os autores, a escolha da abordagem dependente da qualidade dos dados disponíveis e, para este trabalho, devido aos dados disponíveis, será adotada a mesma abordagem *bottom-up* para a estimativa das emissões de CO<sub>2</sub>.

No modelo elaborado em La Rovere (2002), para cada combustível, o cálculo das emissões de cada poluente  $p$ , em um determinado ano  $t$ , considera o número de veículos da frota circulante ( $NV_{i,t}$ ), a distância média anual percorrida ( $DM_{i,t}$ ) por esta frota, os fatores de emissão médios de cada poluente ( $FE_{i,p}$ ) corrigidos pelos respectivos fatores de deterioração ( $FD_{i,p}$ ), que são desagregados por ano-modelo ( $i$ ), conforme a equação (1).

$$E_{p,t} = \sum_i (NV_{i,t} \cdot DM_{i,t} \cdot FE_{i,p} \cdot FD_{i,p}) \quad (1)$$

As seções seguintes abordam cada uma destas variáveis separadamente, com as considerações em relação à adaptação para a frota local. Inicialmente, são apresentados o perfil da frota considerada (item 3.1), a distância média percorrida pela frota (item 3.2), os fatores de emissão (item 3.3) e os fatores de deterioração (item 3.4).

#### 3.1. Perfil da frota considerada

Segundo Azuaga (2000), as principais fontes de dados da frota nacional na literatura são as

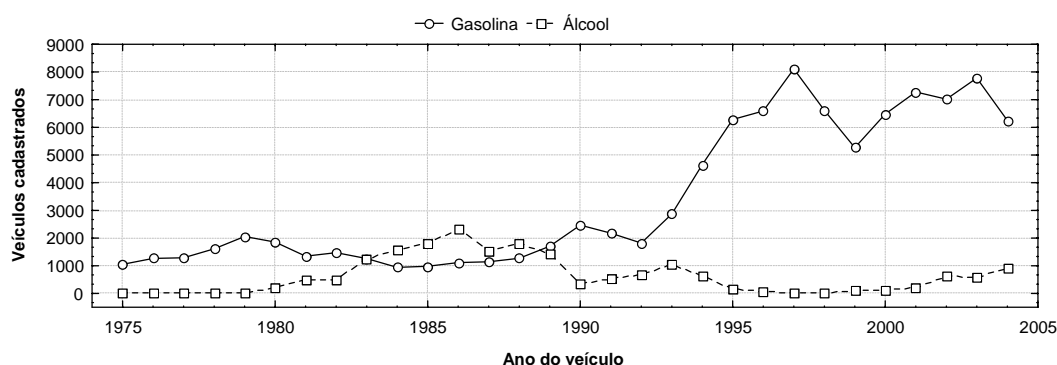
vendas no mercado interno da ANFAVEA, dados estes que podem ser corrigidos por uma curva de sucateamento, e as informações do Anuário Estatístico dos Transportes (AET), com informações dos DETRANs estaduais. Segundo a autora, estas duas fontes podem fornecer dados com grandes discrepâncias entre si, como em situações de duplicidade nos registros de DETRANs de estados diferentes.

Para o estudo na cidade de Maringá, serão utilizados os dados da frota da cidade fornecido pelo DETRAN do Paraná. Para isto, serão considerados somente os veículos com ano de fabricação (*i*) igual ou superior a 1975 e desconsiderando os veículos bicomcombustível. Em relação aos veículos fabricados antes de 1975, esta decisão se deve ao fato de que filmagens realizadas nos cruzamentos semaforizados da cidade terem revelado que veículos com mais de 30 anos raramente são encontrados em circulação tendo, portanto, participação pouco expressiva no fluxo de veículos. No caso dos veículos bicomcombustível, estes foram desconsiderados devido à uma participação pequena na frota atual. No entanto, considerando a tendência de crescimento da quantidade deste tipo de veículo no mercado nacional, é provável que a frota de veículos bicomcombustível da cidade aumente de forma significativa. Segundo o relatório de vendas no atacado da ANFAVEA (2005), nos últimos meses as vendas dos veículos ditos *flex* no atacado têm superado as dos veículos a gasolina. Na tabela 1 estão demonstradas a frota considerada e as percentagens de veículos desprezados e na figura 1 é mostrado o perfil em relação ao ano de fabricação desta frota considerada.

**Tabela 1:** Frota considerada

Combustível	Frota cadastrada	Frota considerada	Veículos desprezados
Bicomcombustível	1.471	–	1.471 (100%)
Álcool	19.018	19.007	11 (0,06%)
Gasolina	106.003	102.003	4.000 (3,77%)
Total	126.492	122.481	5.482 (4,33%)

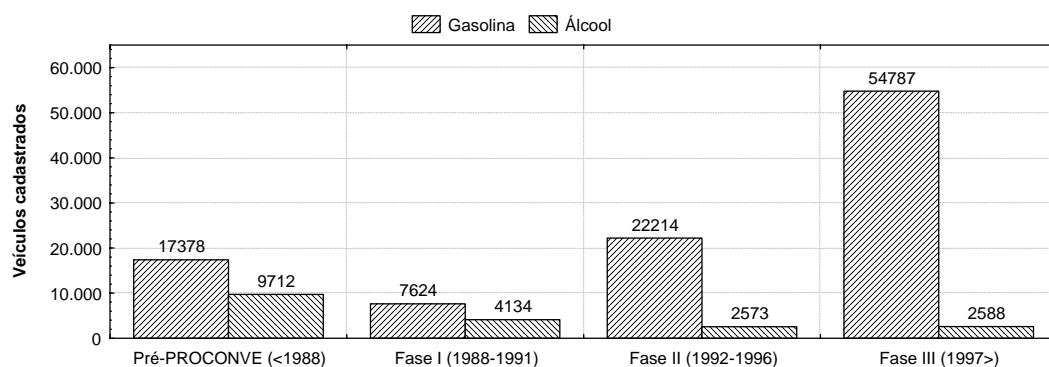
fonte: DETRAN-PR, 2005



**Figura 1:** Perfil da frota considerada – 2004

Da análise do comportamento da frota nacional em circulação de 1990 à 1994 feita pelo MCT (2002), foi observado um processo de envelhecimento da frota de veículos leves a álcool, um crescimento de veículos leves a gasolina e a diminuição da idade média da frota, o mesmo comportamento que, de forma geral, se observou para a frota da cidade de Maringá. Além disso, ao se observar o perfil da frota na figura 1 pode-se notar um nítido aumento dos veículos a gasolina em relação aos veículos a álcool com ano-modelo a partir de 1989, refletindo a crise no abastecimento de álcool desse período.

Os dados da frota considerada foram agregados em quatro partes, referentes às três fases do PROCONVE e à fase anterior ao programa, como pode ser visto na figura 2. O que se pode notar de imediato é a idade relativamente nova da frota, com mais da metade da frota com ano-modelo a partir de 1997 (início da fase III do PROCONVE), em grande parte representada por veículos a gasolina. Esta grande quantidade de veículos pertencente à terceira fase do PROCONVE e, assim sendo, com melhor controle nas emissões, possibilita uma menor participação na emissão de poluentes.



**Figura 2:** Perfil da frota considerada desagregada por combustível e fase do PROCONVE

Para a estimativa das emissões, deve-se observar o caso dos veículos com o mesmo ano-modelo do ano em estudo, ou seja,  $i=t$ . Segundo o MCT (2002), para este caso deve ser feito um ajuste para que as emissões deste ano não sejam superestimadas. Isto é feito considerando a idade média desses veículos como sendo de meio ano. A mesma consideração foi adotada no presente trabalho para a análise das emissões do ano de 2004.

Em relação a esta frota considerada, é necessário observar que, apesar dos dados do DETRAN serem atualizados, dentre os veículos que circularam na cidade no ano de estudo, nem todos os pertencentes à frota cadastrada podem ter circulado efetivamente, assim como houve a circulação de veículos pertencentes à outras cidades vizinhas, que não pertenciam, portanto, à frota cadastrada. Na falta de dados e estatísticas disponíveis referentes à esta consideração, utilizou-se, portanto, somente os dados do DETRAN.

### 3.2. Distância média anual percorrida

Para a determinação da distância média anual percorrida, no trabalho realizado pelo Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT, 2002), foram adotadas as estimativas da PETROBRÁS, que levam em consideração a idade do veículo, o preço do combustível e o nível de renda da população já que, segundo os autores, não existem séries temporais oficiais em relação a distância média percorrida pelos veículos. Considerando que este tipo de dado não se encontra disponível para a cidade em anos anteriores, são adotados os valores estimados pela CETESB em seus inventários, valores estes referentes à cidade de São Paulo. Estes valores, que são função da idade da frota, podem ser vistos na tabela 2.

**Tabela 2:** Distância Média Percorrida

Idade (anos)	Dist. média anual (Km)	Idade (anos)	Dist. média anual (Km)	Idade (anos)	Dist. média anual (Km)
Até 1	22.000	5	14.000	9	13.000
2	19.000	6	14.000	10	13.000

3	17.000	7	14.000	+11	9.500
4	15.000	8	13.000		

fonte: CETESB, 2005.

Estas distâncias médias foram determinadas pela CETESB para a cidade de São Paulo em 1982 (Uria, 1996 *apud* Azuaga 2000) e podem não representar, necessariamente, a quilometragem observada nos dias de hoje. Além disso, a distância média dos veículos depende de como cada área urbana está organizada, ou seja, do zoneamento das áreas residenciais, comerciais e industriais (Azuaga, 2000).

Para uma comparação com a distância média anual na cidade de Maringá, uma consulta a uma concessionária da cidade revelou que no primeiro ano os veículos percorrem, em média, 15.000 quilômetros, distantes, portanto, dos 22.000 Km para São Paulo. No entanto, as informações originadas das concessionárias ficam restritas até o quarto ano de uso, sendo que, após este período, a manutenção passa a ser feita normalmente em oficinas mecânicas independentes. Contudo, apesar dos dados da concessionária fornecerem um valor mais realista das distâncias percorridas, estes só foram obtidos para o primeiro ano de uso, sendo então adotados os dados da CETESB.

### 3.3. Fatores de emissão utilizados

Os fatores médios de emissão para HC, CO e NO<sub>x</sub>, desagregados por ano-modelo e combustível (gasolina C e álcool hidratado) são os mesmos empregados pela CETESB em seu inventário de emissões veiculares (CETESB, 2005). Estes fatores médios são médias ponderadas de cada ano-modelo pelo volume produzido e são determinados, para os veículos leves novos, por meio de ensaios conforme norma NBR-6601 (ABNT, 2004). Esta norma prescreve a metodologia de teste para a determinar quantidades de hidrocarbonetos (HC), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>) e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), emitidos pelos motores de combustão internas dos veículos automotores leves. Durante este teste, cada veículo é submetido, em um dinamômetro de chassi, a um ensaio que simula um ciclo considerado como característico para as vias públicas, o FTP-75, da EPA americana.

Para a determinação das emissões de CO<sub>2</sub>, os dados da CETESB apresentam somente valores a partir de 2002 (CETESB, 2005) e, em MCT (2002), estão disponíveis valores dos fatores de emissão de CO<sub>2</sub> até 1994, sendo que os valores deste intervalo foram interpolados tanto para veículos a álcool quanto para a gasolina.

### 3.4. Fatores de deterioração

As emissões de HC e CO tendem a aumentar conforme o uso do veículo, mesmo havendo uma manutenção adequada (Azuaga, 2000). Isto se deve ao desgaste de peças e componentes, que afeta as características do motor. Assim sendo, os fatores de emissão destes poluentes devem ser corrigidos por fatores de deterioração. Estes fatores de deterioração representam a variação nas emissões em função do uso do veículo. No Brasil, a CETESB, na realização de seus inventários de emissão, adota fatores de deterioração para HC e CO, para veículos a gasolina, que se baseiam na EPA americana (tabela 3).

Para cada poluente, os fatores de deterioração da CETESB se dividem em veículos fabricados no País antes de 1977 e após 1977 (inclusive), que correspondem aos fatores de deterioração de modelos pré-68 e pós-68 fabricados nos EUA, respectivamente. Em relação ao NO<sub>x</sub>, o

fator de deterioração é considerado igual a 1. Isto se deve, segundo o MCT (2002), à tendência de diminuição da emissão deste gás devido ao desgaste dos anéis dos pistões e a conseqüente diminuição da pressão dentro dos cilindros e da temperatura dos gases. Para o CO<sub>2</sub>, devido a não ter sido encontrado um fator de deterioração, será adotado o valor 1.

**Tabela 3:** Fatores de deterioração

	HC	CO	NOx
Antes de 1977	$FD = \frac{7,50 + 0,18 \cdot Y}{7,50}$	$FD = \frac{78,27 + 2,5 \cdot Y}{78,27}$	1
Após 1977	$FD = \frac{4,43 + 0,25 \cdot Y}{4,43}$	$FD = \frac{56,34 + 2,5 \cdot Y}{56,34}$	

fonte: MCT, 2002.

Na tabela 3, *Y* representa a distância percorrida em mil milhas. Este valor de *Y* é limitado a 6,27, pois, segundo La Rovere *et al.* (2002), após 101.000 km se estabelece a degradação das emissões. Sendo assim, o valor de *Y* é dado por:

$$Y = \begin{cases} \frac{km_{acum}}{1,61 \cdot 10000}, & \text{se } km_{acum} \leq 101.000 \\ 6,27, & \text{se } km_{acum} > 101.000 \end{cases} \quad (2)$$

Segundo MCT (2002), como a frota veicular é calculada para o final do ano, deve-se também aplicar o fator de deterioração nos veículos fabricados no último ano que, como visto anteriormente, têm vida média de meio ano. Para os veículos a álcool, devido ao fato de seus padrões de emissão se assemelharem aos dos veículos a gasolina, da mesma forma que em Azuaga (2000), para estes veículos serão utilizados os mesmos fatores de deterioração.

Em Mendes (2004) é ressaltado que estes fatores de deterioração foram determinados para automóveis americanos com mais de 30 anos e sem dispositivos de controle de poluição. Este perfil, segundo o autor, está muito distante dos padrões de emissão e a deterioração dos veículos nacionais mais recentes.

No estudo realizado por Corvalán e Vargas (2003), na cidade de Santiago do Chile, foram obtidos fatores de deterioração para veículos leves de passeio com injeção eletrônica e catalisadores de três vias. Estes fatores foram obtidos como função da quilometragem e da velocidade, para 160 veículos da frota local e excederam, de forma significativa, os fatores de deterioração do AP-42 da EPA como é mostrado na tabela 4. Estes fatores de deterioração do AP-42 são mais abrangentes do que os fatores da adotados pela CETESB.

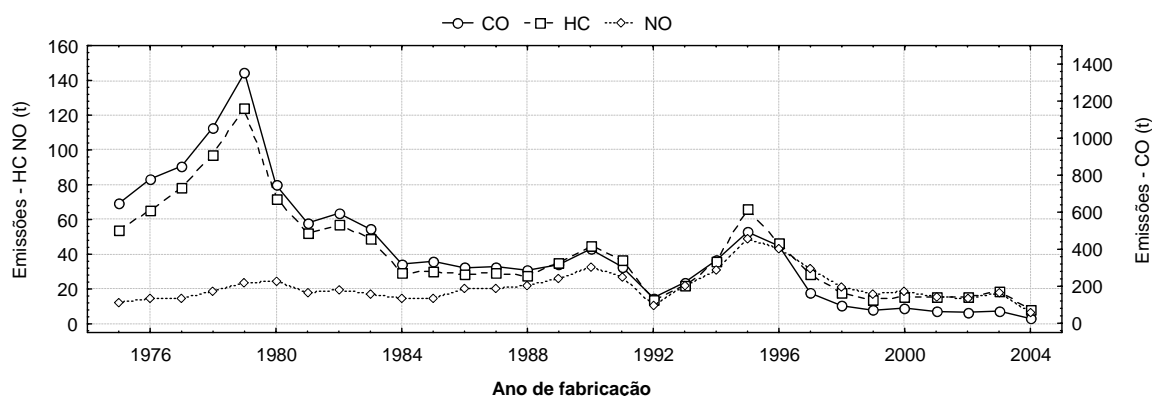
**Tabela 4:** Comparação entre os fatores de deterioração

Metodologia	Fatores de deterioração		
	HC	CO	NOx
AP-42	1,17	1,40	1,10
Corvalán e Vargas	3,23	1,72	3,04

fonte: Corvalán e Vargas, 2003.

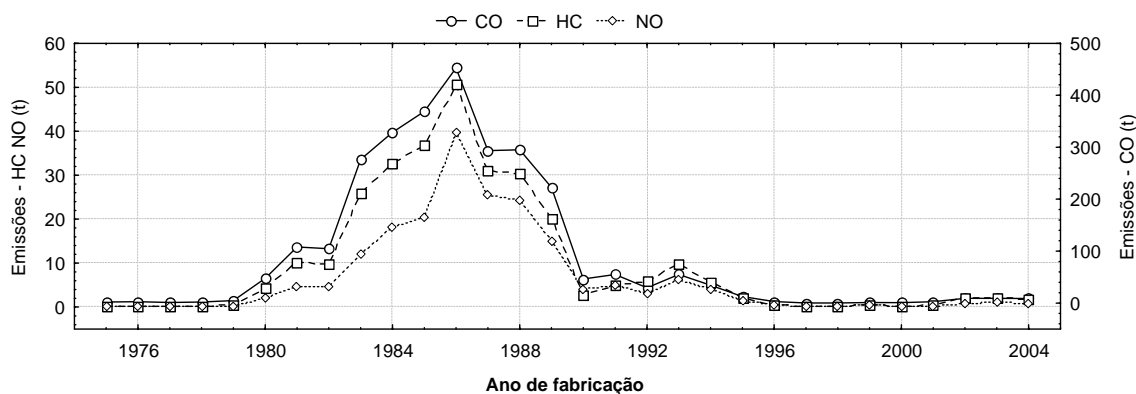
#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O que pôde ser visto no item 3.1 é que a frota da cidade é relativamente nova quando considerados os veículos a gasolina. Para verificar o comportamento das emissões de acordo com a idade da frota, nas figuras 3 e 4 estão traçados os perfis de emissão para os três principais poluentes veiculares desagregados por ano de fabricação. Nestes gráficos estão consideradas as quantidades de veículos pertencentes a cada ano de fabricação. O que se observa é que, comparando as grandezas dos valores apresentados nas figuras 3 e 4, fica claro que as emissões dos poluentes automotivos na cidade de Maringá são, em grande parte, provenientes dos veículos movidos a gasolina.



**Figura 3:** Perfil de emissões da frota considerada – gasolina C

Em relação às emissões referentes aos veículos a gasolina (figura 3), observa-se que, mesmo com um número significativo de veículos com ano de fabricação a partir de 1992, como visto na figura 1, existe uma pequena contribuição nas emissões por parte destes veículos, sendo mais expressiva entre 1994 e 1996. A redução significativa nas emissões a partir de 1997, mesmo com um número muito maior de veículos em relação aos veículos pertencentes à outras fases, se deve às novas tecnologias de controle de poluição relativas à terceira fase do PROCONVE.



**Figura 4:** Perfil de emissões da frota considerada – álcool

Em relação às emissões referentes aos veículos a álcool (figura 4), observa-se duas situações distintas. A primeira, contemplando os veículos com ano de fabricação anterior à 1979 e ano de fabricação a partir de 1996. A emissão por parte destes veículos apresenta baixos níveis, devido ao reduzido número de veículos cadastrados, no caso de veículos fabricados antes de

1979, e às novas tecnologias de controle de poluição implementadas em veículos fabricados a partir de 1997. A segunda situação engloba os veículos com ano de fabricação de 1980 a 1990. Esta é caracterizada por um grande número de veículos dos anos de 1980 a 1986, seguido de uma redução drástica da quantidade de veículos de anos entre 1987-1990. Esta variação no número de veículos cadastrados se reflete nas emissões dos poluentes, principalmente em relação ao seu pico, com os veículos fabricados em 1986.

Para analisar a eficiência da adoção de novas tecnologias de redução de emissão de poluentes automotivos, os resultados de emissão foram agregados por fases do PROCONVE. Na tabela 5 é possível constatar que cerca de 52% da frota a gasolina, pertencente a um estágio tecnológico de controle de poluição mais avançado (fase III), contribui de forma menos significativa nas emissões de CO, HC e NO. Além disso, observa-se que, apesar da frota considerada possuir apenas 18% dos veículos na fase pré-PROCONVE, foram observadas as maiores quantidade emitidas para HC, CO e NOx.

**Tabela 5:** Resumo dos resultados para frota a gasolina

	< 1988 (18%) <sup>1</sup>	Fase I (8%) <sup>1</sup>	Fase II (22%) <sup>1</sup>	Fase III (52%) <sup>1</sup>	Total estimado (t)
CO	70,19%	11,02%	13,55%	5,25%	11.879
HC	62,37%	11,72%	15,07%	10,85%	1.227
NOx	36,40%	16,87%	24,35%	22,38%	636
CO <sub>2</sub>	11,57%	5,17%	19,93%	63,36%	249.219 <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Participação da frota a gasolina em cada fase

<sup>2</sup> 15,08% de CO<sub>2</sub> renovável (MCT, 2002)

Na tabela 6 pode-se observar comportamento semelhante nas emissões de HC, CO e NOx para veículos a álcool. Neste caso, deve-se levar em consideração que a participação maior nas emissões referentes à fase anterior ao PROCONVE seja também devido à maior participação de veículos pertencentes à esta fase.

**Tabela 6:** Resumo dos resultados para frota a álcool

	< 1988 (52%) <sup>1</sup>	Fase I (22%) <sup>1</sup>	Fase II (14%) <sup>1</sup>	Fase III (12%) <sup>1</sup>	Total estimado (t)
CO	71,71%	22,27%	4,84%	1,18%	2.780
HC	69,44%	19,91%	8,14%	2,51%	292
NOx	65,54%	24,73%	7,86%	1,86%	195
CO <sub>2</sub>	46,38%	19,72%	12,80%	21,10%	32.659 <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Participação da frota a álcool em cada fase

<sup>2</sup> CO<sub>2</sub> renovável

Em relação as emissões de CO<sub>2</sub>, não se observa uma redução nas emissões para a fase III do PROCONVE, e sim um aumento em decorrência do maior número de veículos a gasolina pertencentes esta fase e mais longas distâncias a serem percorridos pelos mesmos. Além disso, o desenvolvimento tecnológico levou a um aperfeiçoamento na reação de combustão, otimizando a relação ar-combustível, o que contribuiu com a diminuição das emissões dos poluentes e resultando nessa maior emissão de CO<sub>2</sub>.

Segundo Álvarez e Linke (2004), devido ao fato do álcool anidro adicionado a gasolina e o álcool hidratado terem sua origem em fonte de energia renovável, a parcela referente às suas emissões não são contabilizadas para fins de inventários de emissões de GEE, mas o Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC) recomenda que a parcela de origem seja relatada.

Uma última análise foi feita para verificar qual seria o impacto da utilização dos fatores de deterioração obtidos em Corvalán e Vargas (2003). Como visto anteriormente, estes fatores foram determinados para veículos com catalisadores de três vias e injeção eletrônica, o que seria equivalente aos veículos da frota considerada pertencentes à terceira fase do PROCONVE. Como a participação dos veículos a álcool nesta terceira fase são reduzidas (5%), a análise foi limitada aos veículos a gasolina. As emissões calculadas com estes fatores de deterioração podem ser comparadas na tabela 7.

**Tabela 7:** Emissões de poluentes em função de diferentes fatores de deterioração

Metodologia	CO (ton.)	HC (ton.)	NOx (ton.)
Fase III (CETESB)	623	133	147
Fase III (Corvalán e Vargas)	917	348	467

O que se observa é uma grande diferença entre a utilização destes fatores de deterioração, o que pode indicar que os resultados na estimativa das emissões podem estar subestimados. De acordo com Mendes (2004), as emissões obtidas com os fatores de deterioração do AP-42 da EPA com os da CETESB são significativamente maiores, um problema que, segundo o autor, deve ser resolvido com a disponibilidade dos dados dos fatores de deterioração que estão sendo compilados desde 2002 pelas montadoras.

## 5. CONCLUSÕES

Neste trabalho, as emissões de três poluentes, HC, CO e NOx, foram estimadas utilizando a metodologia da CETESB, considerando somente veículos com ano-modelo superior à 1975 e desconsiderando os veículos bicomcombustível. Em cada etapa do cálculo da estimativa, foram feitas considerações sobre como os valores adotados na metodologia poderiam interferir no resultado final.

Em relação à idade da frota, foi observado que a parcela mais significativa de veículos a gasolina pertence a um estágio tecnológico mais avançado e a parcela de veículos a álcool mais significativa se localiza numa fase anterior ao PROCONVE. Para o ano de 2004 observa-se uma relação de 6,7:1 de veículos a gasolina em relação aos veículos a álcool. Na parcela de veículos sem controle tecnológico, observou-se que a maior participação de veículos antigos a álcool permite que as emissões, principalmente de CO, sejam menores em relação aos movidos a gasolina. Além disso, estes veículos apresentaram uma participação extremamente alta nas emissões em relação aos veículos de qualquer fase de controle de emissões, principalmente em relação aos veículos a gasolina da terceira fase, com uma frota quase três vezes superior à frota sem controle tecnológico.

Diante deste fato, pode ser observada a eficiência das tecnologias de controle das emissões, principalmente no caso de Maringá, com uma frota recente, onde ficou evidente que, mesmo em maior quantidade, os veículos mais recentes poluíram em menor quantidade. Contudo, a

melhora na queima dos combustíveis propicia um aumento nas emissões de CO<sub>2</sub>, que não tem as emissões controladas.

Deve-se ressaltar que, devido ao cálculo das emissões apresentar diversas ressalvas, é necessário adaptá-lo ao local em que se deseja quantificar as emissões. No caso da distância média percorrida, o que foi verificado para cidade para o primeiro ano corresponde a 70% ao valor adotado da cidade de São Paulo. Uma alternativa à estes valores seria a pesquisa nas concessionárias da cidade dos valores dos quatro primeiros anos do veículos e, para os anos restantes, pesquisas direcionadas aos motoristas.

Em relação aos fatores de deterioração, estes foram determinados para veículos americanos de fins da década de 1960 e, como verificado no estudo realizado no Chile, até mesmo a utilização dos fatores de deterioração do AP-42 podem ainda subestimar o efeito da idade e do uso nas emissões dos veículos. Este problema pode ser resolvido com a disponibilidade dos dados dos fatores de deterioração que têm sido compilados pelas montadoras.

Um problema relacionado à frota consiste no crescimento dos veículos bicombustível. Como os usuários têm a liberdade de escolher o combustível, isso pode, sob condições favoráveis de mercado, aumentar o consumo de álcool hidratado. Este aumento no consumo levaria à uma elevação nos níveis de emissão de aldeídos. Além disso, esta liberdade de escolha também ocasiona que, em cada veículo bicombustível, haja uma participação diferente de cada combustível. Isto dificultaria a estimativa das emissões para estes veículos, sendo que, devido a não disposição de fatores médios de veículos bicombustível com várias misturas, mas somente para gasolina e álcool, uma alternativa seria a estimativa das emissões para as duas situações de combustível, adotando os valores máximos de cada situação.

Além da estimativa das emissões para a cidade de Maringá durante o ano de 2004, esta estimativas das emissões auxilia no estudo por modelos de emissão modal, onde a utilização destes modelos, acoplados a simuladores de tráfego, pode fornecer resultados de emissões na análise do impacto de certas situações de tráfego. Com esta estimativa das emissões pela metodologia da CETESB, é possível obter fatores médios ponderados de emissão para veículos compostos, que podem servir de base para a adaptação destes modelos.

#### **Agradecimentos**

Os autores de trabalho gostariam de agradecer ao DETRAN-PR, ao CNPq pela concessão de bolsas de doutorado e produtividade, à João Walker Damasceno e à Zacarias Veículos de Maringá.

#### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- ABNT (2004) *NBR 6601 – Veículos Rodoviários Automotores Leves – Determinação de Hidrocarbonetos, Monóxido de Carbono, Óxidos de Nitrogênio e Dióxido de Carbono no Gás de Escapamento*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- AHN, K. (1998) *Microscopic Fuel Consumption and Emission Modeling*. Dissertação de Mestrado, Department of Civil and Environmental Engineering, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia.
- ÁLVARES O. M. e LINKE, R. R. A. (2005) *Metodologia Simplificada de Cálculo das Emissões de Gases do Efeito Estufa de Frotas de Veículos no Brasil* – obtido em : [http://www.ambiente.sp.gov.br/proclima/inventario\\_efeitoestufa.pdf](http://www.ambiente.sp.gov.br/proclima/inventario_efeitoestufa.pdf)
- ANFAVEA (2005) *Vendas Internas no Atacado de Nacionais / Tipo de Combustível*. Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores.
- AZUAGA, D. (2000) *Danos Ambientais Causados por Veículos Leves no Brasil*. Dissertação de Mestrado,

- UFRJ/COPPE, Rio de Janeiro.
- CAPPIELLO, A. (2002) *Modeling Traffic Flow Emissions*. Dissertação de Mestrado. Department of Civil and Environmental Engineering, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts.
- CARVALHO, J. A. e LACAVA, P. T. (2003) *Emissões em Processos de Combustão*. Editora UNESP, São Paulo.
- CETESB (2005) *Relatório de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo – 2004*. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, São Paulo.
- CORVALÁN, R. M. e VARGAS, D. (2003) *Experimental Analysis of Emission Deterioration Factors for Light Duty Catalytic Vehicles – Case study: Santiago, Chile*. Transportation Research Record Part D, 8 (4): 315–322.
- DETRAN-PR (2005) *Frota Cadastrada no Município de Maringá – Posição Dezembro de 2004*. Departamento de Trânsito do Paraná, Divisão de Estatística, Paraná.
- EPA (2004) *Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990 – 2002*. EPA 430-R-04-003. United States Environmental Protection Agency.
- EPA (2003) *National Air Quality and Emissions Trends Report*. EPA 454/R-03-005. United States Environmental Protection Agency.
- IBAMA (2004). *Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores – PROCONVE*. Ministério do Meio Ambiente dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal, 2ª Edição atualizada, Brasília – DF. Coleção Meio Ambiente, Séries Diretrizes – Gestão Ambiental, nº 2.
- LA ROVERE, E.L.; MENDES, F.E. (coords.) et al. (2002) *Avaliação do PROCONVE - Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores*, LIMA/COPPE/UFRJ/MMA, Rio de Janeiro.
- MANAHAN, S. E. (1994) *Environmental Chemistry*. 6ed., Lewis Publishers, New York.
- MCT (2002) *Emissões de Gases de Efeito Estufa no Setor Energético por Fontes Móveis*. Ministério da Ciência e Tecnologia, Brasília, DF. Obtido em 12/04/2005 no endereço eletrônico [http://www.mct.gov.br/clima/comunic\\_old/pdf/fontesm\\_p.pdf](http://www.mct.gov.br/clima/comunic_old/pdf/fontesm_p.pdf).
- MENDES, F. E. (2004) *Avaliação de Programas de Controle de Poluição Atmosférica por Veículos Leves no Brasil*, Tese de doutorado, UFRJ/COPPE, Rio de Janeiro.

**Endereço dos autores:**

Universidade Estadual de Maringá – UEM

Avenida Colombo, 5790

CEP:87020-900 – Maringá, Paraná, Brasil

e-mail: ed\_p\_lima@yahoo.com.br; marcelino@deq.uem.br; shdm@terra.com.br