

DISCUSSÃO E ESTIMATIVA DAS EMISSÕES  
INDIRETAS PROVOCADAS PELOS VEÍCULOS A  
GASOLINA NA BACIA AÉREA III DA REGIÃO  
METROPOLITANA DO RIO DE JANEIRO

Luiz Artur Pecorelli Peres

Germano Lambert Torres

Luiz Augusto Horta Nogueira

Aaron Golub

XI Congresso Brasileiro de Meteorologia

Rio de Janeiro

2000

Rio de Janeiro

# DISCUSSÃO E ESTIMATIVA DAS EMISSÕES INDIRETAS PROVOCADAS PELOS VEÍCULOS A GASOLINA NA BACIA AÉREA III DA REGIÃO METROPOLITANA DO RIO DE JANEIRO

Luis Arthur Pecorelli Peres  
Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ  
Rua S. Francisco Xavier, nº 524, Bloco A, sl. 5029, Maracanã, Rio de Janeiro – RJ, 20559 – 900  
pecorelli@openlink.com.br

Germano Lambert Torres e Luiz Augusto Horta Nogueira  
Escola Federal de Engenharia de Itajubá – EFEI  
Av. BPS, 1303, Itajubá – MG, 37500 – 000

Aaron Golub  
University of California at Berkeley  
Institute of Transportation Studies

## ABSTRACT

Several studies have showed the influence of the gasoline automobiles on air quality in urban centers. Recent calculations confirm this behavior in the Air Shed III of the Rio de Janeiro Metropolitan Region (RJMR). In order to evaluate the air pollution impacts from these vehicles it is important to investigate the indirect emissions, i. e., those originated from the gasoline production, at the refineries, and from the delivering and refueling process. This text presents an estimate of the indirect emissions in the RJMR. The results indicate that these emissions are significant and encourage to continue this project.

## 1. INTRODUÇÃO

Diversos estudos realizados sobre a qualidade do ar nos grandes centros urbanos evidenciam a influência preponderante da presença dos automóveis de passeio, em especial, aqueles movidos a gasolina, devido ao maior número de unidades existentes, quando comparado com o dos demais veículos [MURGEL<sup>(b)</sup>; BAJAY et al.; MARTINEZ et al.; DeKOSTER et al.]. Cálculos recentes mostram este comportamento para a região metropolitana do Rio de Janeiro e adjacências no que diz respeito, principalmente, aos hidrocarbonetos e o monóxido de carbono [GOLUB].

Apesar dos avanços tecnológicos recentes, que procuram reduzir as emissões causadas por estes veículos, tal cenário é agravado ao se constatar que a quantidade de carros vem aumentando, dando ensejo, portanto, a continuação dos esforços, no sentido de modificar esta tendência. De fato, a inserção de outras modalidades de propulsão, como a elétrica, poderão trazer amplos benefícios a situação vigente [DeLUCHI et al; FORD; OLIVEIRA; GILCHRIST; HERMANCE et al.; PECORELLI PERES<sup>(a,b,c,d,e)</sup> et al]. Além disto, a literatura técnica registra, também, um empenho na busca de metodologias que avaliem as emissões produzidas pelos veículos a combustão interna tornando possível inventariá-las e prevê-las [MURGEL<sup>(a)</sup> et al]. Aprimoramentos introduzidos nestas averiguações, permitem levar em conta, além do tipo de veículo e a sua idade, as condições de tráfego [STURM et al.; GOLUB]. Estes cálculos, de acordo com a classificação empregada neste texto, estão relacionados com as chamadas *emissões próprias*, isto é, aquelas de caráter primário, produzidas pelo funcionamento exclusivo dos veículos e as de caráter secundário, resultantes de reações químicas na atmosfera [SEINFELD et al.], originadas das primeiras, como é o caso do ozônio em baixa altitude.

Tendo em vista estas considerações, e com o objetivo de aprofundar a discussão sobre a poluição do ar nas cidades, procurou-se averiguar neste trabalho, as *emissões indiretas* destes veículos, ou seja, aquelas decorrentes do processo de produção e de abastecimento do combustível utilizado, concentrando-se as análises nos automóveis movidos a gasolina. Para tanto, este texto foi organizado como segue: os conceitos e a metodologia empregada encontram-se na Seção 2; na Seção 3, alguns cálculos foram elaborados, procedendo-se, em seguida a sua análise; finalmente a Seção 4 foi deixada para a exposição das conclusões.

Os resultados encontrados indicam que as emissões indiretas podem alcançar valores significativos. Como conseqüência, há risco da quantificação das emissões totais vir a ser subestimada, quando se leva em conta apenas aquelas de natureza própria. Adicionalmente, o trabalho destaca ainda a necessidade de uma maior atenção quanto

a medição das emissões indiretas, visando avaliá-las com maior precisão de forma a exercer, se necessário, um controle mais efetivo sobre as mesmas.

## 2. CONCEITOS E METODOLOGIA

### 2.1 Conceitos

Inicialmente são descritas as formas de poluição causadas pelos veículos a combustão interna especificamente, os carros que funcionam a gasolina, aqui denominados como VCI's.

Neste trabalho as emissões dos VCI's foram classificadas em dois grandes grupos. O primeiro refere-se às *próprias*, isto é, aquelas inerentes ao funcionamento do veículo. O segundo grupo refere-se às emissões que resolveu-se denominar como *indiretas*, ou seja, são aquelas provocadas pelo processo de produção e reabastecimento dos combustíveis dos VCI's.

As emissões próprias são, em geral, divididas em dois tipos: as *provenientes do tubo de escapamento ou de exaustão* e as *de evaporação*. As fontes emissoras localizadas no tubo de escapamento são provocadas pela combustão que se efetua no interior do motor após este ser ligado, enquanto que, as do outro tipo ocorrem pelas evaporações de poluentes originadas no tanque de combustível, no carburador, nos sistemas de injeção eletrônica e no cárter. Vale notar que as emissões pelo tubo de escapamento podem ser reduzidas com o emprego de conversores catalíticos cuja função mais importante, segundo [LORA], é a “absorção” do oxigênio na sua superfície e a transformação deste em espécies ativas ( O, O<sub>2</sub>, ...), que reagem com os hidrocarbonetos e o monóxido de carbono. Há vários modelos de catalisadores, sendo comum, atualmente, o de três vias que atua sobre os hidrocarbonetos, os óxidos de nitrogênio e o monóxido de carbono. Contudo, há uma relação estreita entre a eficiência de conversão destas substâncias pelo catalisador e a regulação da mistura ar e combustível.

Quanto às emissões de evaporação dependem, principalmente, da capacidade com que gasolina evapora, RVP (reid vapour pressure) e da presença dos sistemas de injeção eletrônica, que, também reduzem o nível de poluição. Estas são apresentadas em três desdobramentos por [LORA] e se referem, principalmente, aos hidrocarbonetos não queimados, e vapores do combustível, a seguir apresentadas:

*Diurnas* - o tanque do VCI estacionado, após o desligamento do motor, succiona ar para o seu interior durante a noite, na medida em que vai se resfriando e expira uma mistura de ar e vapores por causa do aquecimento natural que ocorre durante o amanhecer.

*Saturação a quente (hot soak)* – estas evaporações ocorrem imediatamente após desligar o motor do veículo, quando o seu calor residual ainda esquentava o combustível que estava sendo enviado pela bomba.

*Em funcionamento* – são evaporações surgidas pelo aquecimento do combustível durante o funcionamento do motor, independentemente, do veículo estar ou não parado, por exemplo, em um sinal de trânsito.

A este panorama de emissões apresentado, [MURGEL <sup>(b)</sup>] esclarece que as emissões de evaporação resultam também da evaporação natural do combustível pelas juntas conexões e respiros do seu sistema de alimentação, constituído pelo reservatório ou tanque, tubulações, filtros, bomba e carburador ou sistema de injeção eletrônica. Também aborda as emissões de evaporação *do combustível não queimado*, CNQ, citado anteriormente, como resultante do processo de combustão ter sido parcialmente oxidado. Para os motores a gasolina este tipo de emissão compõe-se primordialmente de hidrocarbonetos.

No caso do “gasool” (adição de álcool anidro a gasolina) e do álcool hidratado o CNQ envolve quantidades variáveis de hidrocarbonetos, álcool e aldeídos, principalmente, e dependem das características dos combustíveis e do processo de combustão.

É interessante mencionar que diversos hidrocarbonetos podem causar dano celular, sendo que, alguns como o benzeno, são considerados cancerígenos e mutagênicos. Participam das reações de formação do “smog” fotoquímico, que além da geração de oxidantes como o ozônio e o peroxiacetilnitrato, reduz a visibilidade ambiente. A ação dos oxidantes mencionados é classificada como sendo de nível regional, podendo abranger áreas de centenas de quilômetros.

Além dos hidrocarbonetos que participam de maneira significativa nos processos de evaporação descritos, os seguintes poluentes são submetidos às normas e regulamentos de emissões veiculares [MURGEL <sup>(b)</sup>]:

*Monóxido de carbono* (CO) – resulta da oxidação parcial do carbono, que é regida pela quantidade de oxigênio disponível no momento da queima. A relação ar e combustível adotada pode aumentar, de maneira considerável, a quantidade de CO emitida. Isto, em parte, explica a menor emissão de CO dos carros a álcool, que permite uma regulação mais elevada de ar do que nos carros a gasolina. Esta substância é conhecida pelo seu efeito letal quando inalada, pois combina com a hemoglobina do sangue, diminuindo a capacidade de oxigenação do cérebro, do coração e de outros tecidos orgânicos. Pode provocar tonturas, dor de cabeça, sono e redução de reflexos, chegando em caso extremo, dependendo das condições de confinamento, resultar em morte. Sua ação maior é de efeito local, abrangendo quarteirões de uma área urbana próximos às fontes emissoras.

*Óxidos de nitrogênio* (NO<sub>x</sub>) – resultam da combinação do oxigênio e nitrogênio presentes no ar admitido pelo motor, em condições de altas temperaturas e pressões. Os NO<sub>x</sub> podem provocar irritação e constricção das vias respiratórias, diminuem a resistência orgânica, participam do desenvolvimento do enfisema pulmonar e à semelhança dos hidrocarbonetos, se envolvem, de forma ativa, nas reações fotoquímicas que dão origem ao “smog”. Em contato com o vapor d’água, o dióxido de nitrogênio transforma-se em ácido nítrico podendo estar presente na chuva ácida.

*Óxidos de enxofre* (SO<sub>x</sub>) – resultam da oxidação do enxofre existente no combustível. Os óxidos de enxofre se absorvidos pelo trato respiratório superior podem provocar tosse, sensação de falta de ar, respiração ofegante, rinfaringites, diminuição da resistência orgânica às infecções, bronquite crônica e enfisema pulmonar. A ação dos óxidos de enxofre ocorre a nível local, regional e continental. O dióxido de enxofre ao reagir na atmosfera propicia a formação de partículas de ácido sulfúrico e de sais de sulfato, podendo também participar na composição da chuva ácida.

*Material particulado* (MP) – é constituído de partículas diminutas, que se formam da queima incompleta dos combustíveis e de seus aditivos bem como do desgaste de pneus e freios. Os veículos a gasolina apresentam emissões de partículas de carbono, as quais servem de transporte para outras substâncias, como os hidrocarbonetos. Os particulados finos apresentam uma grave ameaça à saúde ao se instalarem nos tecidos pulmonares e podem atuar a nível local, regional e continental.

*Aldeídos* – são formados pela oxidação incompleta dos combustíveis, especialmente, no caso do álcool anidro. Constituem-se numa classe de poluentes caracterizada principalmente pelos aldeídos ascético e fórmico. A toxicidade dos aldeídos é, geralmente, caracterizada por irritação dos olhos, nariz garganta e epiderme. Há evidências de que o aldeído fórmico, que também é formado durante a queima da gasolina, apresenta características cancerígenas. Além da ação tóxica, os aldeídos, analogamente às emissões de evaporação e de combustível não queimado, participam das reações fotoquímicas na atmosfera. Deve-se observar que a solubilidade dos aldeídos nas gotículas d’água e aerossóis, presentes na atmosfera, possibilita a reação com outras substâncias também solúveis, como os compostos de enxofre, fato que acaba por envolver os aldeídos no processo de formação de chuvas e nevoeiros ácidos.

*Dióxido de carbono* (CO<sub>2</sub>) – na acepção da palavra não tem sido considerado como um poluente devido a sua baixa toxicidade. Entretanto, devido a sua intensa participação nos desequilíbrios que afetam o efeito estufa e das implicações a nível global [RIBEIRO], há uma atenção particular quanto a emissão desta substância que é objeto de acompanhamento e supervisão permanente por diversos organismos nacionais e internacionais. De uma maneira geral, o CO<sub>2</sub> está presente tanto nos veículos a gasolina, como a álcool e a “gasool”. De acordo com [MURGEL<sup>b</sup>], argumenta-se que o CO<sub>2</sub> emitido pelo uso do álcool seria contrabalançado pelo processo de fixação desta substância, necessário para o desenvolvimento da cana de açúcar, ou qualquer outra cultura visando a produção de combustíveis, resultando na retirada deste gás da atmosfera. Esta característica colocaria o álcool em vantagem sobre a gasolina, pois pelo fato de não ser renovável, não ocorre a reciclagem do CO<sub>2</sub>, acarretando, portanto, o seu acúmulo na atmosfera. Esta argumentação apresenta, entretanto, algumas controvérsias, visto que, há a contraposição de que outras culturas, que não a da cana de açúcar, que estiverem ocupando a área destinada a produção do álcool, também estariam retirando CO<sub>2</sub> da atmosfera, evitando, assim o seu crescimento.

Ao lado das emissões veiculares aqui denominadas como próprias, encontram-se as indiretas decorrentes do processo energético no qual está inserido o veículo em estudo. Serão abordadas as Emissões de Evaporação no Reabastecimento, bem como, as Emissões nas Refinarias.

As emissões evaporação no reabastecimento são originadas de duas maneiras nos postos de serviço. Uma é associada com a *distribuição do combustível dos caminhões tanque para os reservatórios no subsolo dos postos de*

gasolina e a outra é associada com a *reposição do combustível destes reservatórios para os tanques individuais de cada VCI*. Estes processos de preenchimento de combustível acarretam emissões de vapores que são forçados para o ar caso não hajam dispositivos de controle de recuperação dos mesmos, de forma a reduzi-las. Adicionalmente, a estas emissões de evaporação devem ser acrescentadas, também, aquelas que ocorrem nas estações de armazenamento, onde os combustíveis são estocados e abastecem os caminhões tanque.

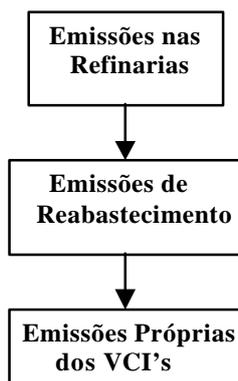
A outra classe de emissões indiretas relacionadas aos VCI's é formada nas refinarias ao ser produzida a quantidade de combustível, ainda não consumido, e que será necessário ao reabastecimento destes veículos. Estas emissões, de uma maneira geral, possuem uma ação poluente, cujas principais substâncias envolvidas são: HC, CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, MP e CO<sub>2</sub>.

Vale notar que as emissões indiretas provenientes dos VCI's. são, principalmente, originadas em *fontes estacionárias*, pois estão associadas aos pontos de armazenagem, reabastecimento e refinarias. Quanto as emissões próprias, formadas a partir dos VCI's fazem com que estes sejam classificados como *fontes móveis e dispersas*. Ambas as fontes possuem peculiaridades específicas nem sempre realçadas na literatura técnica. De uma maneira geral, prefere-se exercer o controle da poluição nas fontes estacionárias já que as móveis requerem um aparato de medição periódica, nem sempre eficaz, das unidades veiculares existentes.

## 2.2 Metodologia

As análises para a determinação das emissões totais tomam como premissa o cálculo prévio das emissões próprias dos VCI's. A estas, portanto, são adicionadas as emissões indiretas, objeto deste trabalho. A Figura 1, ilustra as etapas envolvidas com o processo de emissão destes veículos.

Figura 1 – Estrutura Básica do Processo de Emissão dos VCI's



### 2.2.1 Emissões de HC Devido ao Reabastecimento:

$$ehvcre = (reaca + reapo + reavc).(distot).(1/coegavc).(1/1000) \quad (1)$$

Onde:

*ehvcre* - emissões de HC devido ao reabastecimento de combustível, em Kg / dia

*reaca* - fator de emissão relativo ao reabastecimento dos caminhões tanque nos locais de armazenagem do combustível, em g / l

*reapo* - fator de emissão relativo ao reabastecimento dos postos de gasolina pelos caminhões tanque, em g/l

*reavc* - fator de emissão relativo ao reabastecimento dos veículos nos postos de gasolina, em g / l

*distot* - distância esperada total percorrida pelo grupo de veículos examinados, em Km/dia

*coegavc* - eficiência média do VCI, em Km / l

### 2.2.2 Estimativa das Emissões Provenientes das Refinarias

Esta etapa de cálculo objetiva avaliar as emissões das refinarias de petróleo expressando-as em termos de g/Km, decorrentes da produção de combustível que seria utilizada pelos VCI's. Parte da aproximação considerada,

baseia-se em [DeLUCI et al.] que pressupõe como conhecidos os fatores de emissão de poluentes gasosos destas fontes estacionárias. O cálculo das emissões das refinarias pode ser iniciado pela avaliação das emissões anuais, em função dos dados, normalmente, disponíveis, de acordo com (2):

$$[erefto(i)] = (volpetro).[emisref(i)].(mespet) \quad (2)$$

Onde:

$[erefto(i)]$  - vetor das emissões de poluentes anuais das refinarias, em Kg, sendo  $i = 1,2,\dots,5$ , que corresponde, respectivamente, a: HC, CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, MP.

$volpetro$  - volume total de petróleo refinado em m<sup>3</sup>/ano nas refinarias consideradas

$[emisref(i)]$  - vetor dos fatores de emissão dos poluentes nas refinarias de petróleo considerados expressos, em kg / t

$mespet$  - massa específica do petróleo em t / m<sup>3</sup> ( valor típico igual a 0,868 t / m<sup>3</sup> )

Em seguida, estima-se a quantidade de poluente emitido nas refinarias, associado ao volume de gasolina produzido, anualmente, conforme, (3):

$$[erefga(i)] = [erefto(i)].(volgas/volderi) \quad (3)$$

Onde:

$[erefga(i)]$  - vetor da quantidade de poluente emitido nas refinarias anualmente, em Kg, associado a produção total de gasolina

$volgas$  - volume total de gasolina produzida nas refinarias consideradas, em m<sup>3</sup> / ano

$volderi$  - volume total de derivados de petróleo produzidos nas refinarias consideradas, em m<sup>3</sup> / ano

Pode-se, assim, obter o fator de emissão das refinarias expresso, em Kg / dia, associado a produção de gasolina e por conseguinte, as emissões diárias provocadas pelos VCI's considerados, conforme (4) e (5):

$$[erefvc(i)] = [erefvga(i)]/365 \quad (4)$$

$$[erevcd(i)] = [erefvc(i)].(distot).(1/coegavc).(1/(volgas/365)).(1/1000) \quad (5)$$

Onde:

$[erefvc(i)]$  - fator de emissão diário dos  $i$  poluentes considerados, em Kg / dia proveniente da produção total de gasolina

$[erevcd(i)]$  - vetor das emissões diárias nas refinarias devido ao suprimento de combustível aos VCI's em Kg / dia

Observando-se a equação (5) constata-se que os valores calculados de emissão, referem-se exclusivamente ao combustível que seria despendido com os VCI's sob exame.

### 2.2.3 Emissões Totais Diárias Relativas aos VCI's

Nas equações de (6) a (10), a seguir, considerou-se  $evcte(i)$  como elemento do vetor de emissões próprias dos VCI's em Kg / dia, admitindo-as, previamente calculadas:

Emissões Totais de HC, CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> e MP, relacionados às equações (6) a (10), respectivamente:

$$ehcvcto = evcte(1) + erefvcd(1) \quad (6)$$

$$ecovcto = evcte(2) + erefvcd(2) \quad (7)$$

$$enovcto = evcte(3) + erefvcd(3) \quad (8)$$

$$esovct = evcte(4) + erefvcd(4) \quad (9)$$

$$empvct = evcte(5) + erefvcd(5) \quad (10)$$

### 3. CÁLCULOS E ANÁLISE

#### 3.1 Descrição do Caso para Exame

Nesta seção é apresentado um caso hipotético no qual considerou-se um grupo de 30000 veículos de passeio, a gasolina, novos, sendo todos do mesmo modelo e ano de fabricação, atuando em um dia típico, num centro urbano. De acordo com os dados técnicos disponíveis, foi adotado um consumo de combustível igual a 7,9 l/100 km e um percurso diário total de todos os veículos igual a  $1,3473 \times 10^6$  km. Os cálculos prévios relativos às emissões próprias resultaram nos seguintes valores, indicados na Tabela 1:

Tabela 1. Emissões Próprias Diárias dos Veículos Considerados

Poluente	HC	CO	NO <sub>x</sub>	SO <sub>x</sub>	MP
Emissões Próprias (Kg)	515,2	2694,5	808,4	125,9	8,1

Com respeito aos fatores de emissão de HC, associados às emissões indiretas de reabastecimento, foram utilizados os valores médios das medições realizadas pela Sierra Research, Inc. que totalizaram 2,57 g/l, supondo, a ausência de mecanismos de recuperação de vapores. Para o cômputo das emissões das refinarias adotou-se os valores indicados na Tabela 2. Estes fatores correspondem aos números intermediários das faixas de valores típicos, publicados pelo World Bank, conforme, citado por [LORA].

Tabela 2 Fatores Adotados de Emissão das Refinarias de Petróleo

Poluente	HC	CO	NO <sub>x</sub>	SO <sub>x</sub>	MP
Fator(kg/t)	0,3	0,7	0,3	1,3	0,8

No sentido de satisfazer as equações (2) a (5) a Tabela 3 apresenta os valores da produção de petróleo, gasolina e derivados utilizados.

Tabela 3 – Produção de Petróleo e Derivados Adotada

Produto	Petróleo	Gasolina	Derivados
Volume (m <sup>3</sup> /ano)	80064566	18348100	76061338

A obtenção dos valores da Tabela 3 tomou como base o Anuário Estatístico da Indústria Brasileira do Petróleo de 1998, editado pela ANP (Agência Nacional do Petróleo). Para isto, utilizou-se valores que possam representar adequadamente a relação das variáveis, presentes nas equações mencionadas.

#### 3.2 Resultados Encontrados e Análise

A Tabela 4, em seguida, indica os resultados encontrados, para as emissões indiretas diárias decorrentes, do emprego da metodologia apresentada no item 2.2, aplicada para o caso em pauta. Visando analisar os resultados encontrados, vem exposto, inicialmente, na Figura 2 em seguida, um gráfico no qual pode-se comparar as emissões de HC. Como se vê são bastante significativas as emissões de reabastecimento caso não se exerça nenhum controle sobre elas. Na Figura 3 estão apresentadas as emissões nas refinarias, onde os óxidos de enxofre e o material particulado correspondem às maiores quantidades de poluentes emitidos nesta fonte.

Tabela 4 - Emissões Indiretas Diárias Resultantes (Kg)

Emissões		HC		CO		NO <sub>x</sub>		SO <sub>x</sub>		MP	
		kg	%	kg	%	kg	%	kg	%	kg	%
Indiretas	Reabastec.	274,8	33	-	0	-	0	-	0	-	0
	Refinarias	48,4	6	67,8	2	29,1	3	126,0	50	242,3	97
Próprias ( Tabela 1)		515,2	61	2694,5	98	808,4	97	125,9	50	8,1	3
Totais		838,4	100	2762,3	100	837,5	100	251,9	100	250,4	100

Figura 2 - Emissões de HC

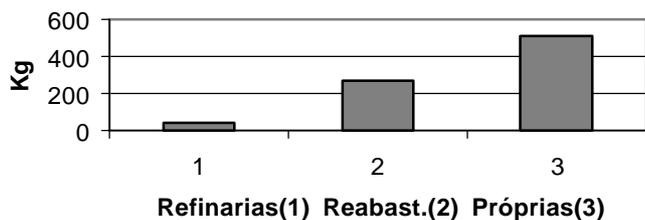
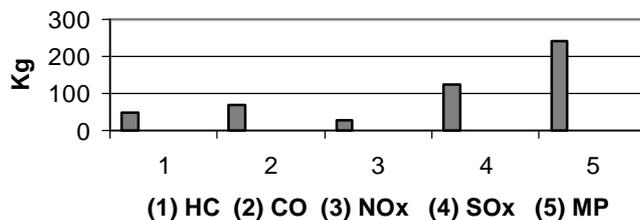
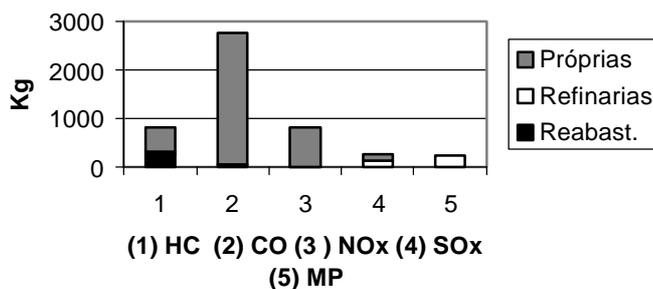


Figura 3 - Emissões das Refinarias



O gráfico de barras da Figura 4, a seguir, indica o total de emissões de cada poluente destacando a influência das origens consideradas. O caráter predominante das emissões próprias no que tange ao CO e NO<sub>x</sub>, não é acompanhado pelo SO<sub>x</sub> e material particulado, pois para estes dois últimos as refinarias contribuem com 50% e 97 %, respectivamente, do total emitido. Quanto ao HC, já apresentado no gráfico da Figura 2, vale ainda mencionar, que praticamente, metade das emissões de reabastecimento, fica por conta da reposição do combustível nos postos, através dos caminhões tanque e a outra metade se refere a reposição, a varejo, dos próprios veículos, cabendo uma fração diminuta ao recolhimento da gasolina nestes caminhões nos locais de armazenagem da gasolina.

Figura 4 – Influências das Emissões



### 3.3 Emissões Indiretas dos Veículos a Gasolina da Bacia Aérea III do Estado do Rio de Janeiro

Com base nos cálculos do item 3.1 foi elaborada uma projeção das emissões indiretas provocadas pelos veículos a gasolina da Bacia Aérea III do Estado do Rio de Janeiro. Esta área compreende a região metropolitana do Rio de Janeiro, e os municípios de Belford Roxo, Duque de Caxias, Magé, Nilópolis, Nova Iguaçu, Queimados e São João de Merití, incluindo, também Japerí. Serviu como referência o cálculo efetuado com o MEFM1 (Modelo de Inventário de Fontes Móveis 1), desenvolvido por [GOLUB]. De acordo com este trabalho, a frota existente, até 1997, compreende cerca de 1,4 milhões de veículos a gasolina, cujas emissões anuais próprias vêm transcritas, a seguir, na Tabela 5. Assumindo-se, de maneira simplificada, os mesmos percentuais encontrados na Tabela 4, procurou-se, então, estimar o total efetivo de emissões causadas pelos veículos em pauta, incluindo aquelas provenientes do reabastecimento e das refinarias.

Tabela 5 - Emissões Próprias e Indiretas Anuais da Bacia Aérea III ( 10<sup>3</sup> x toneladas)

Poluentes	HC		CO		NO <sub>x</sub>		SO <sub>x</sub>		MP	
	10 <sup>3</sup> x t	%								
Reabastecimento	25,5	33	-	0	-	0	-	0	-	0
Refinarias	4,6	6	7,9	2	0,4	3	3,1	50	116,4	97
Próprias [GOLUB]	47,2	61	386,3	98	13,9	97	3,1	50	3,6	3
Totais	77,3	100	394,2	100	14,3	100	6,2	100	120	100

Observando-se as equações (1) e (5), que calculam respectivamente, as emissões de HC e os fatores de emissão das refinarias, verifica-se que ambas são proporcionais à distância média percorrida pelos veículos e inversamente proporcionais ao seu consumo de gasolina, respectivamente. Portanto, admitidos como válidos os

demais parâmetros envolvidos, as emissões indiretas estimadas, poderão ser superiores às encontradas devido, principalmente, a eficiência dos veículos considerados neste item, em que as idades dos mesmos é diversificada e tendo em vista que, tanto no exemplo anterior, como nesta estimativa, as distâncias médias não apresentam diferenças significativas. Ainda sobre as emissões de reabastecimento de combustíveis referentes ao HC, cabe a menção de que o emprego de técnicas avançadas de controle e recuperação de vapores pode reduzir substancialmente os fatores aqui empregados, propiciando desta forma, uma influência bem menos acentuada deste processo sobre a qualidade do ar.

#### 4. CONCLUSÕES

Este trabalho procura chamar a atenção quanto às emissões indiretas provocadas pelos veículos a gasolina. Estas emissões possuem duas origens principais. Uma é decorrente do reabastecimento do combustível efetuado nos locais de armazenagem e nos postos de distribuição. A outra corresponde a parcela de emissões oriunda da produção da gasolina nas refinarias destinadas a estes veículos.

As avaliações efetuadas para um grupo de veículos hipotéticos atuando em um centro urbano, indicam que as emissões indiretas podem alcançar níveis significativos, caso não se exerça controles específicos sobre as mesmas. Esta afirmação é constatada comparando-se os valores encontrados com as emissões próprias, inerentes exclusivamente ao funcionamento dos veículos. De fato, no caso dos hidrocarbonetos, cabe um maior aprofundamento das pesquisas relativas a medição das evaporações, pois as emissões de reabastecimento alcançaram 33% das emissões próprias. O mesmo se aplica quanto a quantidade calculada de SO<sub>x</sub> e MP emitida pelas refinarias. Com base nos valores encontrados puderam ser então estimadas, em primeira aproximação, as emissões indiretas provenientes dos veículos a gasolina da Bacia Aérea III da Região Metropolitana do Rio de Janeiro. Apesar de tratar-se de um cálculo não rigoroso, fica evidente a necessidade da continuação das investigações iniciadas, dando ensejo, inclusive, a realização de medições visando averiguar a necessidade de exercer controles específicos sobre estas emissões. Além disto, destaca-se a importância de se examinar as emissões indiretas dos veículos a gasolina nas análises dos impactos ambientais causados por estes veículos, pois correm o risco de serem subestimados.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAJAY, Sergio Valdir, BERNI, Mauro Donizetti. *Otimização da Demanda de Energia e da Emissão de Poluentes no Transporte Urbano: Estudo de Caso Sobre a Cidade de Salvador*, II Congresso Brasileiro de Planejamento Energético, Campinas, Dezembro, 1994.
- DeKOSTER, Dirk et alii. *Impact of Electric Vehicles on Selected Air Pollutants: A Comprehensive Model*. IEEE Transactions on Power Systems. Vol. 10, No 3, August, 1995, pág. 1383-1388.
- DeLUCHI, Mark, WANG, Quanlu, SPERLING, Daniel. *Electric Vehicles: Performance, Life Cycle Costs, Emissions and Recharging Requirements*. Transpn. Res., Vol 23a, Nº 3, 1989, pág. 255-278.
- FORD, Andrew. *The Impacts of Large Scale Use of Electric Vehicles in Southern California*. Energy Buildings, Vol. 22, NO 3, August, 1995, pág. 207-218.
- GOLUB, Aaron. Modelo das Emissões das Fontes Móveis 1 (MEFM1), Palestra apresentada no I Seminário de Ar Limpo para a Bacia Aérea III da Região Metropolitana do Rio de Janeiro, Dezembro de 1999.
- GILCHRIST, Tom. *Fuel Cells to the Fore*. IEEE Spectrum, November, 1998.
- HERMANCE, David, SASAKI, Sichi. *Hybrid Electric Vehicles Take the Streets*. IEEE Spectrum, November, 1998.
- LORA, Electo Silva. *Prevenção e Controle da Poluição na Indústria*. Itajubá: Editado pela EFEI, 1998.
- MARTINEZ, Nathalie; DESSUS, Benjamin; DELARUE, Claude; NESPO, François. *Les Enjeux Environnementaux de la Pénétration du Véhicule Électrique en Europe*. Revue de L'Énergie, no 463, novembre 1994; pag. 636-648.
- MURGEL<sup>(a)</sup>, Eduardo Mascarenhas; SZWARC, Alfred; SANTOS, M. D.; BRANCO, G.M.; CARVALHO, Homero. *Inventário de Emissão Veicular Metodologia de Cálculo*. Engenharia Sanitária, Vol. 26, No 3; jul/set 1987.
- MURGEL<sup>(b)</sup>, Eduardo Mascarenhas. *Veículos Automotores, o Proalcool e a Qualidade do Ar*. Rio de Janeiro: CNI, COASE, 1990.

- OLIVEIRA, Jorge. L. F. *Gás Natural Alternativa Energética à Redução de Poluentes Veiculares*, Anais do X Congresso Brasileiro de Meteorologia e VIII Congresso da Flismet (Federação Latino Americana e Ibérica de Sociedades de Meteorologia). Brasília, DF. 26 a 30 de Outubro de 1998.
- PECORELLI PERES <sup>(a)</sup>, Luiz A., HORTA, Luiz A. N., LAMBERT TORRES, Germano. *Influências Sobre os Sistemas de Energia com a Introdução dos Veículos Elétricos na Sociedade*. III Congresso Latino-Americano Geração Transmissão de Energia Elétrica, Campos do Jordão, SP, Brasil, 1997.
- PECORELLI PERES <sup>(b)</sup>, Luiz A., HORTA, Luiz A. N., LAMBERT TORRES, Germano. *A Inserção do Veículo Elétrico no Planejamento Estratégico das Empresas de Energia*, VIII ERLAC, CIGRÉ, Ciudad del Este, Paraguay, , 1999.
- PECORELLI PERES <sup>(c)</sup>, Luiz A., HORTA, Luiz A. N., LAMBERT TORRES, Germano. *Impacto Esperado na Curva de Demanda Diária Considerando o Recarregamento de Veículos Elétricos a Bateria num Centro Urbano*, Engenharia Eletrotécnica Luso-Espanhola, Lisboa, Portugal: EDINOVA, 1999 (ISBN 972-595-095-X).
- PECORELLI PERES <sup>(d)</sup>, Luiz A., HORTA, Luiz A. N., LAMBERT TORRES, Germano. *Electric Vehicles Impacts on Daily Load Curves and Environment*, IEEE Power Engineering Society, Budapest Power Tech'99, Budapeste, Hungria, 1999. Tech'99 and PES,
- PECORELLI PERES <sup>(e)</sup>, Luiz A.; HORTA, Luiz A. N.; LAMBERT-TORRES, Germano. *Planejamento do Sistema com a Inclusão dos Novos Veículos Elétricos e a Gestão Ambiental*, VII Symposium of Specialists in Electric Operational and Expansion Planning, Curitiba, PR, Brasil, 21 a 26 Maio de 2000.
- RIBEIRO, Suzana Kahn. *O Alcool e o Aquecimento Global*. Rio de Janeiro: CNI, COINFRA: COPERSUCAR, 1997.
- SIERRA RESEARCH INC., The Feasibility and Costs of More Stringent Mobile Source Emission Controls, prepared for U.S. Congress, OTA, Sacramento, California, 1988.
- SEINFELD, John H.; PANDIS, Spyros N. *Atmospheric Chemistry and Physics- From Air Pollution to Climate Change*, John Wiley & Sons Inc., 1998
- STURM, J.; ALMBAUER, R. ; SUDY, C.; PUCHER, K. *Applications of Computational Methods for the Determination of Traffic Emissions*, J. Air & Waste Manager. Assoc., Vol 47, November, 1997, pag. 1204 to 1210.