

VI-094 – SUBSÍDIOS METODOLÓGICOS PARA A AVALIAÇÃO DAS EMISSÕES ANUAIS DE VEÍCULOS LEVES EM REGIÕES METROPOLITANAS

Luiz Artur Pecorelli Peres⁽¹⁾

Engenheiro Eletricista pela UFRJ (1970). Mestre em Engenharia e Doutor em Ciências pela Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI. Professor da Pós Graduação em Engenharia Ambiental – PEAMB e do Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ. Trabalhou no planejamento do sistema energético na ELETROBRAS E FURNAS CENTRAIS ELÉTRICAS S.A .



Endereço⁽¹⁾: Rua S. Francisco Xavier, 524 –FEN / DEL sala 5029-A –Rio de Janeiro - RJ - CEP: 20559-900 - Brasil - Tel: (21) 2587-7401 - e-mail: lapp@uerj.br

Theresa Christina de A. Rosso⁽²⁾

Doutora em Engenharia Oceânica e M. Sc. em Engenharia Civil ambos pela COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ. Especialista em Engenharia Sanitária pela UFMG e, Coordenadora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental – PEAMB da Universidade do Rio de Janeiro - UERJ onde atua como pesquisadora e em projetos de Engenharia Sanitária e Ambiental.

Paulo Mozart G. C. Pinto⁽³⁾

Engenheiro Químico, pela UFRJ, 1973 e Engº Civil, pela USU, 1977. Atuou na Cia Internacional de Engenharia, na PETROBRÁS e na iniciativa privada. Responsável desde 1996 pelo Programa de Meio Ambiente do DETRAN/RJ (Consultoria de Engenharia). Atualmente é também aluno do Mestrado em Engenharia Ambiental da Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ.

RESUMO

O trabalho em pauta apresenta uma metodologia de tratamento das emissões veiculares em centros urbanos visando a obtenção de um inventário de referência, em bases anuais, das substâncias principais consideradas nestes levantamentos, a saber: material particulado, óxidos de nitrogênio, óxidos de enxofre, monóxido de carbono, hidrocarbonetos. Adicionalmente, inclui-se o dióxido de carbono, devido a sua importância relacionada com os desequilíbrios que afetam o efeito estufa. O inventário de referência tem como base a formulação e estabelecimento de um processo estocástico originário de três conjuntos de variáveis referentes aos grupos de veículos da frota: idade cronológica, ano de fabricação, “quilometragem” anual percorrida. Os grupos de veículos, em geral, são classificados numa primeira fase em termos de faixas de cilindradas ou potência. A este modelo podem então ser agregados dados de emissão, como, por exemplo, aqueles divulgados pelo levantamento do Ministério de Ciência e Tecnologia – MCT, levando-se em conta os fatores de correção cabíveis de forma a considerar o ano de fabricação e a “quilometragem” acumulada. Este procedimento inicial, uma vez instalado, permite uma estimativa preliminar do total das emissões anuais veiculares bem como a avaliação de tendências e prognósticos da frota sob exame e assim sejam elaboradas medidas e controles da qualidade do ar urbano.

Ao lado destas ações entendidas como imprescindíveis, pois constituem o arcabouço para evoluir para outras incursões que visem aprimorar este processo, dá-se ensejo neste texto a utilização de dados provenientes das vistorias em veículos realizadas pelos órgãos de trânsito que disponham de espectrofotômetros instalados. Apesar destas vistorias visarem o controle das emissões dos hidrocarbonetos e monóxido de carbono, no caso dos veículos leves, e serem realizadas em “marcha lenta” é sugerido neste texto um tratamento inovador destes dados com o objetivo de averiguar a possibilidade dos mesmos servirem para obtenção dos fatores de emissão destes poluentes. Nestas circunstâncias cabe o uso da simulação estatística e da análise de correlação no sentido de demonstrar a validade desta concepção, pois presume-se a existência de valores obtidos de ensaios de emissões veiculares obtidas com dinamômetro a serem tomados como comparação .

PALAVRAS-CHAVE: Poluição do Ar, Emissões Veiculares, Qualidade do Ar, Inventário de Emissões, Desenvolvimento Urbano.



INTRODUÇÃO

É notório o impacto das emissões das frotas veiculares na qualidade do ar das grandes áreas urbanas. Estudos realizados em renomados centros de pesquisas indicam graves conseqüências provenientes desta situação. Isto ocorre tanto a nível local, como regional e global, exigindo assim uma série de medidas. Do ponto de vista tecnológico, grandes avanços foram conseguidos com o advento dos catalisadores e a injeção eletrônica que vieram substituir os antigos carburadores, nos automóveis. As várias modificações introduzidas nos motores a combustão interna e nos catalisadores trouxeram melhorias significativas de eficiência que redundaram em menor consumo e, portanto menores emissões. Além disto, os combustíveis foram também alvos de mudanças para diminuir a poluição. Todavia, os efeitos combinados do aumento anual das frotas aliado ao das distâncias médias percorridas, tendem a tornar estes avanços insuficientes quando colocados perante as necessidades globais de redução das emissões. Do ponto de vista mundial, infelizmente, esta meta não vem sendo alcançada ainda que progressos de ordem local tenham sido observados.

Este cenário aponta para que providências sejam tomadas no sentido de se avaliar o impacto destas emissões. É mister também estabelecer previsões que possam subsidiar a gestão dos órgãos públicos na difícil tarefa de exercer um controle mais eficaz. Com isto, pretende-se que as tarefas não se limitem a manter os veículos dentro da faixa normal esperada de emissões, por força exclusivamente das vistorias e testes de emissão. Ultrapassar este nível de controle requer esforços adicionais que incluem a implantação de metodologias e procedimentos sistemáticos. Além disto, uma vez que o setor de transportes vem passando por uma forte mudança no que tange às fontes de energia utilizadas e aos métodos de tração torna-se necessário que as ferramentas desenvolvidas possam subsidiar as decisões quanto ao apoio às iniciativas de ordem tecnológica que se mostrem adequadas. Neste sentido, os gestores das áreas de controle e da qualidade do ar necessitam dispor de elementos seguros para identificar, por exemplo, se vale ou não vale a pena oferecer incentivos para o uso da tecnologia veicular híbrida elétrica. Nestas análises estão inclusas as considerações sobre a economia de combustíveis e a diminuição de despesas com atendimentos nos postos de saúde devido aos problemas respiratórios, bem como outros prejuízos a que as populações dos grandes centros urbanos ficam sujeitas em decorrência da poluição atmosférica.

Cabe então explicitar o que se entende como avaliação das emissões veiculares designando-a como a existência de procedimentos mínimos com os quais se consiga indicar a quantidade anual das emissões das substâncias principais emitidas pela frota veicular vigente na região de análise. Consideram-se como substâncias principais o elenco constituído pelo monóxido de carbono, CO, pelos hidrocarbonetos, HC, pelo material particulado, MP, pelos óxidos de nitrogênio, NO_x, pelos óxidos de enxofre, SO_x, e pelo dióxido de carbono, CO₂. Adicionalmente, é desejável desenvolver a capacitação das equipes envolvidas de forma a analisar e detectar as tendências observadas a fim de subsidiarem a atuação dos órgãos de gestão pública quanto ao estabelecimento de medidas eficazes de melhoria da qualidade do ar.

Visando alinhar esforços com estes objetivos, pretende-se apresentar neste trabalho um conjunto de procedimentos metodológicas que possam ser colocados em execução de forma eficaz, pois procurou-se levar em conta as complexidades e limitações existentes para levantamentos desta natureza com que, em geral, as regiões metropolitanas no Brasil se deparam ao lidar com estas questões.

Este texto optou por concentrar-se nos procedimentos de avaliação das emissões da frota de veículos leves, referidos ao ciclo Otto uma vez que recaem sobre os automóveis uma grande parcela do montante de poluentes enviados para a atmosfera nas grandes cidades. De fato, isto se dá pela simples razão que nos grandes centros urbanos a frota de veículos leves é, em geral, dezenas de vezes superior a dos ônibus, caminhões e vans, apresentando ainda estes três últimos, no seu todo, emissões por passageiro, em média, inferior a dos veículos leves. A avaliação da poluição anual provocada pelos veículos, que funcionam com base no ciclo Diesel, segue princípios similares aos da frota de veículos leves e serão objetos de análises complementares para a sua quantificação futura.

O trabalho em pauta, de início, explicita a importância das avaliações da poluição do ar nos grandes centros urbanos distinguindo as questões locais relativas à saúde, a visibilidade, o mobiliário urbano, a flora e a fauna das questões regionais e globais como a chuva ácida e as mudanças climáticas, sendo esta última fortemente relacionada com as emissões de dióxido de carbono. São tratados ainda os fundamentos e o contexto das avaliações com base no comportamento dos fatores de emissão, enfatizando-se a deterioração temporal a que estes estão sujeitos no que tange aos hidrocarbonetos e ao monóxido de carbono. Também são abordados os



conceitos de *idade cronológica* do veículo e a sua *idade de uso* com os quais é possível em função da primeira obter a última mediante um tratamento estocástico adequado.

Na segunda parte é descrita a metodologia referencial de avaliação das emissões empregando-se os valores típicos e os valores limites divulgados pelo Ministério de Ciência e Tecnologia e PROCONVE, respectivamente, caracterizando-se os veículos a partir dos cadastros de frota e cadastros de vistoria mantidos pelos Departamentos de Trânsito. Esta metodologia referencial constitui um instrumento abalizado com que os organismos gestores da qualidade do ar poderão aperfeiçoar passo a passo o método considerado uma vez implantada a rotina básica das avaliações.

Quanto à terceira parte faz-se referência à utilização dos resultados das vistorias veiculares que já contam com espectrofotômetros instalados e em operação como é o caso do Estado do Rio de Janeiro. Estas vistorias visam de forma primordial, além de outros quesitos, o controle das emissões das frotas veiculares existentes uma vez que em função dos testes realizados periodicamente sejam detectados os carros cujas emissões de hidrocarbonetos e monóxido de carbono, por exaustão, estejam fora das faixas aceitáveis. Isto dá ensejo a uma série de levantamentos sobre o estado da frota no que diz respeito inclusive ao comportamento das marcas e modelos veiculares. A intenção dos estudos mencionados é de ampliar o escopo da utilização destes testes, introduzindo, assim, uma inovação. É apresentada, portanto, nesta parte a formulação concebida tendo como fundamento a simulação estatística e a análise de correlação, visando-se com isto verificar se é possível com estes dados obter com maior fidelidade os fatores de emissão do monóxido de carbono e dos hidrocarbonetos da frota considerada. Por último, o trabalho apresenta um balanço do desenvolvimento da metodologia citada apontando nas conclusões os caminhos visualizados para a superação das dificuldades encontradas.

FATORES DE EMISSÃO

A avaliação dos impactos sobre a qualidade do ar das áreas urbanas está centrada na grande quantidade de carros que funcionam segundo o ciclo Otto e os ônibus, caminhões e utilitários que funcionam conforme o ciclo Diesel. Desta forma, costuma-se estimar as quantidades de emissão dos diversos poluentes a partir de fatores de emissão, em geral, expressos em g/km ou g/kWh, que procuram representar o valor médio das emissões ao longo de um ciclo padronizado de percurso. Para isto os veículos passam por testes de norma em dinamômetros especiais que além de poderem determinar as condições de eficiência relacionadas às curvas de torque e velocidade permitem a medição das emissões. Estes testes procuram simular condições reais de funcionamento dinâmico com o veículo em carga.

Entre as substâncias mais importantes para uma avaliação criteriosa das emissões destacam-se as seguintes: o HC, hidrocarbonetos; o CO, monóxido de carbono; o MP, material particulado, de enorme importância devido ao grau de intensidade de danos causados à saúde e de imprescindível quantificação; os NO_x, óxidos de nitrogênio, os SO_x; os óxidos de enxofre e o CO₂, dióxido de carbono, que guarda uma relação estreita com os efeitos climáticos globais [Murgel et al., 1987; Murgel, 1990; Seinfeld, 1998; Pecorelli Peres, 2000].

Desta forma uma estimativa preliminar do total das emissões anuais pode ser elaborada caso se disponha destes fatores. Acontece, porém, que estimativas desta natureza devem ser cercadas de determinados cuidados. Para isto, serão abordados alguns tópicos que permitam auxiliar o exame dos procedimentos de avaliação. Além disto pretende-se também sugerir alguns aprimoramentos a partir de medidas e cadastros normalmente existentes visando tornar as estimativas pretendidas mais próximas da realidade

Descreve-se em seguida o Comportamento dos Fatores de Emissão considerados e as peculiaridades em termos das avaliações pretendidas.

Os veículos a combustão interna apresentam deterioração das suas características de emissão que guardam, em geral, um relacionamento com a distância acumulada, conhecida como “kilometragem”, ao longo do período da sua utilização. Este fato é significativo principalmente no que se refere ao CO, monóxido de carbono, e ao HC, hidrocarbonetos. É comum este relacionamento ocorrer de forma crescente e faz-se portanto necessário conhecer a forma de dependência dos fatores de emissão com a distância acumulada e as substâncias que são mais afetadas por este parâmetro. Sendo assim pode-se escrever para veículos do ciclo Otto que:



$$\text{FEM} \quad (i, j) = f_1 \quad (kma) \quad (1)$$

Onde:

$\text{FEM} (i, j)$ – fator de emissão relativo a substância i relativo a categoria veicular j em g/km

$f_1 (kma)$ – é a função que relaciona o fator de emissão com a distância acumulada percorrida

kma – distância acumulada em km

Com respeito a equação (1) é interessante notar que “ kma ” designa aquilo que se define neste texto como *idade de uso do veículo* e que pode ser relacionada ao que se define como *idade cronológica*, representando esta última simplesmente o número de anos de um veículo referidos, em geral, ao ano da sua fabricação. Desta forma, uma das maneiras usuais de se estimar “ kma ” é através da relação (2) a seguir, com a qual a frota de táxis deve ser objeto de um tratamento diferenciado.

$$kma = f_2 (IC) \quad (2)$$

Onde:

IC – idade cronológica do veículo em anos

$f_2 (IC)$ – função representativa do comportamento de kma em relação a IC

Para efeito de avaliação pode-se definir IC da seguinte maneira:

$$IC = AA - AF \quad (3)$$

Onde:

AA – ano da avaliação

AF – ano da fabricação

Importa notar que $kma = f_2 (IC)$ pode ser calculada em cada categoria j pela soma das estimativas das distâncias anuais percorridas desde o ano de fabricação “ AF ” até o ano de avaliação “ AA ” a fim de que se possa determinar os fatores de emissão “ FEM ” correspondentes. Desta forma, para cada categoria vale estabelecer subconjuntos formados pelas estimativas das distâncias percorridas por ano.

Desta forma, seja:

$DMA (AF, AA)$ – estimativa das distâncias média percorrida em km no ano de avaliação AA , referente aos veículos de ano de fabricação AF .

Vê-se que $PMA (AF, AA) = 0$ para $AA < AF$

Cada $DMA (AF, AA)$ é então visualizado como um elemento de uma matriz representativo das distâncias percorridas a cada ano, cujas linhas indiquem os AF , anos de fabricação e as colunas os AA , anos de avaliação.

Observe-se que o ano da avaliação pode ou não coincidir com o ano atual ou vigente. Visando distinguir de forma explícita esta condição, o ano vigente ou atual, quando necessário, será designado como “ AV ”. Desta forma presume-se que as estimativas ou estudos a serem realizados devem visar a obtenção do montante de emissões em anos anteriores ao vigente com a finalidade de analisar o seu comportamento e verificar a consistência metodológica dos procedimentos.

Dados obtidos por levantamentos realizados pelo MCT permitem auxiliar a obtenção aproximada de “ kma ” e “ DMA ” de acordo com o ano de fabricação conforme Tabela 1 em seguida:

**Tabela 1: Relação entre AF (Ano de Fabricação) e PMA (Distância Anual Percorrida)**

AF (Ano de Fabricação)	PMA (km)
Até 1979	8000
1980 a 1988	10000
1989 a 1991	13500
1992 a 1996	15800
1997 em diante	22000

Com referência a equação (1) cabe algumas observações. Quanto a variável, i , pode-se, por exemplo, adotar o seguinte:

- $i = 1 \rightarrow$ refere-se ao CO
- $i = 2 \rightarrow$ refere-se ao HC
- $i = 3 \rightarrow$ refere-se ao MP
- $i = 4 \rightarrow$ refere-se aos NO_x
- $i = 5 \rightarrow$ refere-se aos SO_x
- $i = 6 \rightarrow$ refere-se ao CO_2

No que tange a variável j , o tratamento classificatório da frota de veículos considerada, pode por exemplo se adotar uma classificação por número de cilindradas CM , isto é volume total de todos os cilindros do motor dos veículos tendo-se o cuidado de distinguir o combustível “COMB”, utilizado. Neste caso, uma classificação possível para os veículos seria para cada combustível:

- $j = 1 \rightarrow CM \leq 1000 \text{ cm}^3 \text{ (1.0)}$
- $j = 2 \rightarrow 1000 \text{ cm}^3 \text{ (1.0)} < CM \leq 1300 \text{ cm}^3 \text{ (1.3)}$
- $j = 3 \rightarrow 1000 \text{ cm}^3 \text{ (1.3)} < CM \leq 1600 \text{ cm}^3 \text{ (1.6)}$
- $j = 4 \rightarrow CM > 1600 \text{ cm}^3 \text{ (1.6)}$

Outra classificação, por exemplo, seria a designação da categoria por marca e modelo. Dependerá dos elementos de gestão e das facilidades disponíveis a adoção desta forma de tratamento das categorias. Contudo, numa primeira etapa de um trabalho de avaliação das emissões é aconselhável a identificação das categorias de uma forma mais simples.

Passa-se agora a abordagem da Deformação dos Valores de Emissão e o seu Controle.

Os veículos a combustão interna podem ter seus fatores de emissão profundamente alterados caso não se observe as rotinas de manutenção previstas no manual de operação do fabricante destes veículos ao qual os seus proprietários e usuários devem seguir. Neste sentido os diversos organismos de trânsito das grandes cidades, em várias partes do mundo, estabelecem as vistorias anuais visando detectar aqueles veículos que estejam fora dos valores máximos previstos para as suas respectivas categorias.

A fim de tornar economicamente viável esta averiguação e de fácil operação, diferentemente dos ensaios em dinamômetro, ela foi concebida com base em requisitos com os quais fosse possível analisar o estado de emissão dos veículos visando estabelecer ou não a sua aprovação. É previsto desta maneira um prazo aos usuários para que ações corretivas possam ser efetuadas caso os seus veículos não atendam a estes requisitos de forma a evitar sanções quanto a renovação da suas licenças [DETRAN, 2001; FEEMA, 2001].



É importante destacar, que de uma maneira geral os dispositivos que realizam estas análises de vistoria são distribuídos nas áreas metropolitanas em postos operados pelos organismos de trânsito. As medidas realizadas consideram o veículo em vazio, isto é o chamado “ponto morto”, sem que o motor exerça tração nas rodas. Nestas condições as medidas são realizadas, no caso do DETRAN/RJ, com o auxílio de espectrofotômetros, por exemplo, [Sun Electric do Brasil, 2001], com os quais são obtidas as quantificações apenas do CO, HC e CO₂ que são suficientes para aprovar ou desaprovar os veículos quanto ao seu estado de emissão. As características destas medições vêm sintetizadas abaixo:

HC na alta (ppm)
HC na baixa (ppm)
CO na alta (% V)
CO na baixa (% V)
Diluição %(CO + CO₂)

Portanto, supondo-se que a realização destes testes conduza a um controle das emissões da frota tal que os veículos na sua maioria estejam aprovados, seria razoável, em princípio, admitir-se para estes veículos a adoção de fatores de emissão típicos uma vez que estes fatores procuram refletir as condições normais de emissão. Os não aprovados, por força do controle exercido tenderão a se adequar aos padrões de forma que também para estes últimos seja cabível utilizarem-se os mesmos fatores típicos. Uma vez satisfeitas estas condições e dispondo-se das distâncias anuais médias percorridas por categoria veicular basta associar estes valores aos fatores de emissão típicos de tal forma a obter-se o montante anual de emissões.

AVALIAÇÃO ANUAL DAS EMISSÕES DE FORMA APROXIMADA

Com base nas relações anteriores, considerando-se uma substância *i* e os veículos do ano de fabricação AF de uma categoria veicular *j*, o montante de emissões no ano de avaliação AA é dado por (4):

$$MO(i, j) = [FEM(i, j) * PMA(AF, AA) * NV(AF, j)] * 10^{-6} \quad (4)$$

Onde:

MO(*i*, *j*) = montante anual de emissões da substância *i* no ano AA relativa aos veículos de ano de fabricação AF da categoria veicular *j* em toneladas

FEM(*i*, *j*) – fator de emissão relativo a substância *i* relativo a categoria veicular *j* em g/km

PMA(AF, AA) – estimativa da distância média anual dos veículos da categoria veicular *j* de ano de fabricação AF no ano de avaliação AA

NV(*j*) – número de veículos de ano de fabricação AF da categoria *j*

Cadastro Anual da Frota e Cadastro Anual de Vistorias. Relacionamentos com a Avaliação das Emissões Anuais

É indispensável para a avaliação das emissões a disponibilidade do cadastro anual da frota relativa ao ano de avaliação “AA” entendendo-se de maneira simplificada a frota como a quantificação anual dos veículos por categorias existentes levando-se em conta os veículos que ingressaram na frota e aqueles que dela foram excluídos. Este cadastro normalmente é controlado pelos organismos de trânsito atuantes numa determinada região. No Brasil, os órgãos responsáveis são os Departamentos de Trânsito cuja atuação se faz a nível estadual.

Em adição a este cadastro e de forma concomitante ao mesmo é também indispensável a disponibilidade do cadastro anual de vistorias pois com ele é possível analisar o controle das emissões da frota, a análise estatística dos testes efetuados bem como o estabelecimento da evolução das distâncias acumuladas percorridas. Estes dois cadastros são a base de obtenção das equações (2), (3) e (4). A administração destes bancos de dados exige uma supervisão e controles permanentes que pode ser realizada em tempo real. Todavia, os administradores de trânsito das grandes cidades, em especial no Brasil se confrontam com um problema devido



a significativa evasão de veículos das vistorias anuais pois a renovação da licença só é concedida mediante o pagamento em dia dos impostos anuais estipulados. Conclui-se de imediato que no cadastro de vistorias não está representada a população total da frota, em termos anuais e desta forma é inerente a sua imprecisão para a obtenção de NV, número de veículos. Esta constatação pode ser um elemento decisório no tocante a se optar pelo tratamento dos dados do cadastro de vistoria em termos amostrais ao invés de tratá-lo com todos os seus elementos [Freund, et al., 1965; Hammerslay et al., 1965; Papoulis, 1965; Gordon, 1969; Philips et al., 1976; Sturm et al, 1997].

A reflexão anterior remete a suposição de que o número de veículos NV, conforme equação (4) possa ser obtido do cadastro da frota uma vez que deseja-se determinar a avaliação das emissões anuais totais.

Vale comentar que a implantação de um processo para a quantificação das emissões pelos órgãos gestores de trânsito das grandes cidades, mesmo que adotando para os valores de FEM, os fatores de emissão divulgados nos levantamentos do MCT, é altamente desejável, devido a sua relativa simplicidade. Acredita-se desta maneira que estas quantificações, numa primeira etapa, já seriam suficientes para ao menos conferir aos gestores do trânsito e da qualidade do ar conhecerem o comportamento aproximado do montante das diversas substâncias emitidas anualmente bem como estabelecerem previsões razoáveis das tendências observadas. Além disto, uma vez dispondo-se destas quantificações, as mesmas poderão sempre servir de referência e comparação de consistência a medida que novos aprimoramentos sejam introduzidos ao processo [Murgel, 1990; Pecorelli Peres et al., 2000].

AVALIAÇÃO ANUAL DAS EMISSÕES UTILIZANDO RESULTADOS DAS VISTORIAS ANUAIS

A análise e acompanhamento dos resultados das vistorias anuais são poderosos instrumentos de controle dos gestores de trânsito e da qualidade do ar. Em síntese este processo no qual exige o trabalho de diversos operadores e profissionais especializados permite fazer com que as emissões veiculares não excedam aquilo que seria o normal esperado da frota de uma região. Este controle conduz a que os usuários fiquem atentos a uma manutenção mais cuidadosa dos seus veículos de tal forma a evitar que haja emissões e consumos excessivos de combustível. Com isto tanto a sociedade como os usuários se beneficiam deste procedimento.

Ainda que os testes realizados nas vistorias sejam tão somente indicativos do estado de emissão nos veículos e lembrando que com este objetivo foram assim concebidos é possível buscar-se relações de tal forma a se poder inferir sobre a quantificação dos fatores de emissão a partir destes dados de vistoria. Neste ponto vale comentar que as alusões sobre este tema são objeto de controvérsias entre os especialistas [Sarmiento, 2002]. Isto se deve ao fato, já explicitado, de que as medidas de obtenção dos FEM, fatores de emissão, se referem aos veículos em carga, em condições termodinâmicas bem diversas daquela em vistoria e segundo padrões normalizados.

Entretanto, nada impede de averiguar se há correlação estatística, entre, por exemplo, as medições volumétricas das vistorias e dos correspondentes FEM uma vez que os testes das vistorias se limitam basicamente a análise do CO e do HC, pois são justamente, as substâncias cujo comportamento apresentam comprovada deterioração do FEM em função de kma, isto é da “quilometragem acumulada”.

Levando-se em conta estas ponderações são então visualizadas algumas premissas e hipóteses que se confirmadas poderão constituir em um instrumento de estimativa dos fatores de emissão referentes ao CO e ao HC conforme descrito a seguir.

A premissa toma como base a tendência geral de que o fator de emissão FEM (i, j) é uma função crescente da quilometragem acumulada, “kma”, em especial, para o CO e o HC. Esta premissa é considerada válida tendo em vista diversos testes divulgados na literatura técnica [Murgel et al. 1987; Murgel, 1990]. A Hipótese 1 assume que para $i = 1 \rightarrow \text{CO}$ e $i = 2 \rightarrow \text{HC}$, as medições de vistoria MV (i, j) sejam funções crescentes de “kma”. Esta hipótese considera que o carro em vazio, “ponto morto”, emite mais de acordo com “kma”.

A Hipótese 2 assume que para $i = 1 \rightarrow \text{CO}$ e $i = 2 \rightarrow \text{HC}$:

$FEM (i, j) = f_1 (kma)$ e $MV (i, j) = f_3 (kma)$ crescem da mesma forma. Isto corresponde a assumir que as estatísticas de FEM (i, j) e MV (i, j) apresentam correlação positiva.



A Hipótese 3 considera que para $i = 1 \rightarrow \text{CO}$ e $i = 2 \rightarrow \text{HC}$:

$FEM(i, j) = f_1(kma)$ e $MV(i, j) = f_3(kma)$ apresentam estatísticas de correlação linear positiva. Esta hipótese se baseia em formulações empíricas que demonstram para os carros com carburador que a função f_1 é linear [Freund, et al., 1965; Papoulis, 1965; Barros Neto et al., 1994]. Ora, pela Hipótese 2 como se admite que as estatísticas de FEM e MV apresentam correlação positiva e se $FEM(i, j)$ é uma função linear de “kma”, presume-se então que as estatísticas de $FEM(i, j)$ e de $MV(i, j)$ sejam também lineares.

Portanto, se estas estatísticas apresentarem correlação positiva forte, isto é, $> 0,75$, e admitindo-se como satisfeitas as hipóteses formuladas, é possível então aplicar-se as formulações de regressão linear simples e a obtenção dos valores dos fatores de emissão, $FEM(i, j)$, a partir de valores de $MV(i, j)$ [Freund, et al., 1965; Papoulis, 1965; Barros Neto et al., 1994]. Em síntese com base nesta metodologia poderia se explicitar com cálculos simples os valores dos fatores de emissão, $FEM(i, j)$, expressos em g/km em termos das medições de vistoria $MV(i, j)$, isto é, ppm, para o HC e % em volume para o CO.

Neste caso, a adoção desta metodologia que parte de uma pesquisa analítica, uma vez validada, poderia representar para a atribuição de valores para $FEM(i, j)$ um ganho razoável de precisão que caberá ser examinada em comparação com avaliação das emissões anuais de forma aproximada, conforme descrito anteriormente. Além disto, há uma dificuldade adicional que obriga a uma pesquisa também de ordem experimental. Se por um lado a estimação das medições de vistoria $MV(i, j)$ é passível de ser realizada em bastante detalhe a partir do cadastro das vistorias o mesmo não ocorre com a estatística de $FEM(i, j)$ uma vez que os testes em dinamômetro, para obtenção destes valores são bem mais complexos de serem realizados pois utilizam aparelhagem de alto custo e necessitam de laboratórios especiais. Todavia, como a homologação dos motores e veículos obriga a realização destes testes na condição “zero quilômetro”, isto é, para $kma = 0$, poderia-se para uma das categorias j serem realizados testes de amostra representativos da estatística de $FEM(i, j)$ visando confirmar as hipóteses 1 a 3 e assim estabelecer uma metodologia de avaliação das emissões veiculares anuais levando em conta os dados do cadastro de vistoria. Vale destacar nestes termos que em muito facilitaria as categorias serem estabelecidas por cilindrada, pois esta parte experimental torna-se menos intensa.

Vale notar que o esforço analítico e experimental para a utilização do cadastro de vistorias na avaliação das emissões veiculares anuais não se limita a contribuir para uma melhor quantificação apenas do CO, monóxido de carbono e do HC, hidrocarboneto. Basta neste caso que os testes amostrais em dinamômetro incluam medições das demais substâncias, isto é, o MP, material particulado, os NO_x , óxidos de nitrogênio, os SO_x ; os óxidos de enxofre e o CO_2 , dióxido de carbono. Com isto, é válido afirmar que as avaliações das emissões veiculares anuais terão um grau de aperfeiçoamento bem mais elevado do que se elaborada de maneira simplificada.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

As conclusões e recomendações, em seguida correspondem a atividades as quais preferiu-se separá-las por etapa de execução. A primeira etapa refere-se a obtenção da avaliação das emissões veiculares anuais de forma aproximada, a segunda etapa refere-se ao aprimoramento desta avaliação utilizando-se dados do cadastro de vistorias dos automóveis e a terceira refere-se a implantação da metodologia.

Para a Primeira Etapa:

Constituir uma equipe da área de estatística e informática para análise do cadastro da frota veicular e do cadastro de vistorias.

Disponibilizar os cadastros da frota e de vistoria no período 1998 a 2001 sem identificar dados privados. Estabelecer a partir dos cadastros da frota e das vistorias, classificado por categoria veicular, a estatística da “kilometragem” acumulada e da distância média percorrida no ano que se deseja avaliar as emissões, para cada ano de fabricação.



22º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental

Estabelecer um banco de dados de fatores de emissões típicos das substâncias CO, monóxido de carbono e do HC, hidrocarboneto. MP, material particulado, NO_x, óxidos de nitrogênio, SO_x, os óxidos de enxofre e CO₂, dióxido de carbono, com os quais se possa de forma aproximada estimar as emissões anuais totais e elaborar um relatório preliminar a partir de 1998 e assim implantar uma metodologia preliminar com esta finalidade. Com isto os gestores do trânsito e da qualidade do ar poderão dispor do comportamento das emissões destas substâncias e das suas tendências. Este relatório poderá assim determinar o término da primeira etapa deste trabalho.

Detalhar as atividades da primeira etapa, elaborar a sua programação e cronograma visando executá-la a contento.

Para a Segunda Etapa:

Estabelecer a estatística dos testes com o auxílio dos espectrofotômetros e relativos às medições cujas características vem sintetizadas abaixo:

HC na alta (ppm)
HC na baixa (ppm)
CO na alta (% V)
CO na baixa (% V)
Diluição % (CO + CO₂)

Esta estatística deverá estar classificada por categoria veicular e vinculada ao ano de fabricação dos veículos com base na kilometragem acumulada e na distância média percorrida no ano que se deseja avaliar as emissões.

Realizar testes amostrais com dinamômetro relativo as categorias veiculares pretendidas e estabelecer a sua estatística.

Elaborar análise de testes de hipótese das estatísticas dos testes de vistoria e dos testes de dinamômetro.

Elaborar análise de correlação e regressão a partir dos testes de vistoria e dos testes de dinamômetro.

Confirmar a validade da utilização dos testes de vistoria para cálculo dos fatores de emissão.

Emitir relatório específico descrevendo a nova metodologia justificando as vantagens, se houverem, quanto ao seu emprego

Detalhar as atividades da segunda etapa, elaborar a sua programação e cronograma visando executá-la a contento. Caso haja conveniência, as duas primeiras etapas podem ser iniciadas simultaneamente.

Para a Terceira Etapa:

Implantar a metodologia de avaliação anual das emissões veiculares da região metropolitana considerada

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BARROS NETO, B; SCARMINIO, Ieda, S.; BRUNS, Roy E. *Planejamento e Otimização de Experimentos*, Campinas, São Paulo: Editora da UNICAMP, 1996.
2. DETRAN-RJ; FEEMA. *Poluição Veicular no Estado do Rio de Janeiro*, Relatório da Equipes Técnicas da FEEMA e DETRAN, Julho, 2001.
3. FEEMA; *Convênio DETRAN/FEEMA – Controle da Poluição Veicular*; Relatório da Equipe Técnica da DIAR (Divisão de Qualidade do Ar), 2001.
4. FREUND, J. E.; MILLER, I. *Probability and Statistics for Engineers*, Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall, 1965.
5. GORDON, G. *System Simulation*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall, Inc., 1969.
6. HAMMERSLAY, J. M.; HANDSCOMB, D. C. *Monte Carlo Methods*, New York: John Wiley And Sons, Inc., 1964.



22º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental

7. LORA, Electo Silva. *Prevenção e Controle da Poluição nos Setores Energético, Industrial e de Transporte*. ANEEL: Brasília, 2000.
8. MURGEL, 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.
9. MURGEL, Eduardo Mascarenhas. *Veículos Automotores, o Proalcool e a Qualidade do Ar*. Rio de Janeiro: CNI, COASE, 1990.
10. PAPOULIS, A. *Probability, Random Variables and Stochastic Processes*, McGraw Hill Kogkusha, LTD., 1965.
11. PECORELLI PERES, Luiz A.; HORTA, Luiz A. N.; LAMBERT-TORRES, Germano. Considerations about Electric Vehicles Impacts on Daily Load and Environment, publicado no livro *Advances in Physics, Electronics and Signal Processing Applications*, editado por Dr. Nikos Mastorakis, World Scientific Engineering Society, 2000, ISBN: 960-8052-17-3.
12. PECORELLI PERES, 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, Brasil, Maio de 2000.
13. PECORELLI PERES, Luiz A.; HORTA, Luiz A. N.; LAMBERT-TORRES, Germano. *Air Pollution Impacts of Diesel Power Generation on Rural Areas in Brazil and Effective Opportunities for Renewable Sources*. Proceedings of the International Association of Science and Technology for Development IASTED, Editor: M. H. Hamza, IASTED /ACTA Press, ISBN:0-88986-300-8 / ISSN: 1482-7891, 2000.
14. PECORELLI PERES, Luiz A.; GOLUB, Aaron; HORTA, Luiz A. N.; LAMBERT-TORRES, Germano. *Discussão e Estimativa das Emissões Indiretas Provocadas Pelos Veículos a Gasolina na Bacia Aérea III da Região Metropolitana do Rio de Janeiro*. XI Congresso Brasileiro de Meteorologia, Rio de Janeiro, Outubro de 2000.
15. PECORELLI PERES, Luiz A.; HORTA, Luiz A. N.; LAMBERT-TORRES, Germano. *Veículos Elétricos: O limiar de uma Era de Transição onde o “Hipercarro” é também Fonte de Energia*. VII Symposium of Specialists in Electric Operational and Expansion Planning, Brasília, Brasil, Maio de 2002.
16. PHILIPS, Don T.; RAVIDRAN, A.; SOLBERG, James J. *Operations Research: Principles and Practice*, John Wiley & Sons, 1976.
17. SARMENTO, Silas F. de M. *Quantificação de Poluentes (Estática x Dinâmica)*, 1º CESSET - Congresso Estadual sobre Segurança de Trânsito promovido pelo DETRAN/RJ, Conferência apresentada na Câmara de Engenharia e Meio Ambiente, Rio de Janeiro, UERJ, Setembro de 2002.
18. SEINFELD, John H.; PANDIS, Spyros N. *Atmospheric Chemistry and Physics-From Air Pollution to Climate Change*, John Wiley & Sons Inc., 1998.
19. 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.
20. SUN ELECTRIC DO BRASIL. *Manual de Referência – Operação do CGA6000-PC*, 2001