

VALORES REFERENCIAIS DO NÍVEL DE EMISSÃO DE GASES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES LEVES DO CICLO OTTO

Ítalo Marques Filizola, MsC.

Secretaria Nacional de Transportes e Mobilidade Urbana
Ministério das Cidades

Yaeko Yamashita, PhD.

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental
CEFTRU – Universidade de Brasília

Carlos Alberto Gurgel Veras, Dr.

Departamento de Engenharia Mecânica
Universidade de Brasília

RESUMO

Nos últimos anos, a intensificação da poluição do ar devido ao crescimento das taxas de motorização tem exposto os habitantes das cidades a situações de risco à saúde. Medidas de controle de emissões veiculares devem estar apoiadas em estudos que reflitam o mais próximo possível os níveis de emissão reais de poluentes gerados por este tipo de fonte móvel. Os valores referenciais do nível de emissão de gases de veículos automotores leves do ciclo Otto (obtidos para CO, CO₂ e NO_x) mostraram que as emissões reais encontram-se na mesma escala de grandeza dos limites estabelecidos pelo PROCONVE, variando de acordo com o cenário considerado (pessimista, normal ou otimista).

ABSTRACT

Last years, air pollution has been intensified in cities due to increasing motorization indexes and exposed the population to unhealth environment. The measures to control air pollution must be supported on studies which reflects in the most realistic way the emission levels of this kind of mobile source. The obtained referential values (for CO, HC and NO_x) of Otto cycle light vehicles is very similar to that established by PROCONVE's limits, according to considered scenario (pessimist, normal or optimist).

1. INTRODUÇÃO

A poluição atmosférica urbana destaca-se como uma das maiores preocupações da sociedade atual, não importando se ela faz parte de países industrializados ou em desenvolvimento. À medida que os efeitos negativos da poluição do ar se intensificaram nas últimas décadas, a sociedade demonstrou preocupação crescente com a qualidade de vida, afetada de modo negativo pelos níveis indesejados de poluição do ar. O Departamento Nacional de Trânsito – DENATRAN (1980) define poluição do ar como uma mudança indesejável, e muitas vezes irreversível, nas características físicas, químicas ou biológicas do ar atmosférico, que podem afetar perniciosamente o equilíbrio do sistema ecológico com interferência na vida do homem, animais e vegetais; deterioração dos bens culturais de lazer; inutilização ou depreciação dos recursos naturais.

A Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB (1997), indica que as emissões causadas por veículos carregam diversas substâncias tóxicas que, em contato com o sistema respiratório, podem produzir diversos efeitos negativos sobre a saúde. Devido ao processo de combustão e queima incompleta do combustível, as emissões veiculares são compostas de gases como: monóxido e dióxido de carbono (CO e CO₂), óxidos de nitrogênio (NO_x), hidrocarbonetos não queimados (HC), óxidos de enxofre (SO_x), partículas inaláveis (MP₁₀), etc. Segundo estimativa da CETESB (2005), os veículos foram responsáveis pelas emissões de 82,8 % de CO; 83,5 % de HC; 95,8 % de NO_x; 38,8 % de MP₁₀ e 53,6 % de SO_x em 2004 na Região Metropolitana de São Paulo, indicando que os veículos produzem mais poluição atmosférica que qualquer outra atividade humana.

O aumento da motorização individual no Brasil tem intensificado o tráfego de veículos nos grandes centros urbanos. Além de causar congestionamentos constantes, o crescimento do

número de veículos causa degradação ambiental, devido à poluição sonora e do ar. De acordo com o DENATRAN (2005), a frota nacional de veículos em circulação dobrou em somente 13 anos: de 18,28 milhões em 1990 para 36,66 milhões em 2003. Verificado este aumento da quantidade de veículos em circulação, compreende-se a importância que estes têm no acréscimo da poluição do ar e seus impactos inerentes, pois segundo a CETESB (1997), a poluição do ar nos centros urbanos e a quantidade de veículos em circulação são diretamente proporcionais.

Constatado o quadro acima, verifica-se a necessidade de identificar quanto os veículos automotores leves estão poluindo. Essa verificação deve ser realizada diretamente na fonte, ou seja, na saída do tubo de escapamento dos veículos, com estes em movimento. Uma vez que o veículo polui muito mais em movimento do que parado, além disso, os processos de dispersão e difusão da poluição do ar são afetados por diversas características do meio que são inconstantes e mutáveis, dificultando de sobremaneira o processo de mensuração que não seja na fonte.

Este trabalho se propõe a dar continuidade ao estudo realizado por Melo (2004), que definiu uma metodologia e instrumentação para determinar o nível de emissão de poluentes de veículos automotores leves em condições reais de operação. Tal metodologia fornece resultados coerentes com os valores que se obtém através de ensaios realizados em laboratórios de emissão, expressos em gramas de poluente emitidas por quilômetro (g/km). Entretanto, os ensaios laboratoriais, apesar de medirem a poluição na fonte, são caros e complexos, além de não refletirem exatamente as condições reais de uso. Comparativamente, a metodologia desenvolvida por Melo é mais simples e econômica. Dessa forma, com sua aplicação será possível identificar um padrão do nível de emissão de poluentes dos veículos automotores leves em movimento.

2. EMISSÕES VEICULARES

Os veículos têm normalmente, a propulsão realizada por motores a combustão interna. Durante seu funcionamento, este tipo de motor obtém, além da energia para o trabalho, calor e ruído (dissipados no meio ambiente), gases (liberados na atmosfera) e partículas sólidas e líquidas.

Alguns dos principais produtos da combustão em veículos automotores são: dióxido de carbono (CO_2), água (H_2O), monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos não ou parcialmente oxidados (HC), aldeídos (R-CHO), óxidos de nitrogênio (NO_x), óxidos de enxofre (SO_x) e material particulado (MP). O ozônio troposférico (O_3), outro importante poluente, tem a sua formação associada à presença de HC e NO_x . (Rovere *et al.*, 2001).

As emissões originadas pelo uso de veículos automotores podem ser divididas nas seguintes categorias:

- a) emissões de gases e partículas pelo escapamento do veículo (subprodutos da combustão lançados à atmosfera pelo tubo de escapamento);
- b) emissões evaporativas de combustível (lançadas na atmosfera através de evaporação de hidrocarbonetos do combustível);
- c) emissões de gases do cárter do motor (subprodutos da combustão que passam pelos anéis de segmento do motor e por vapores do óleo lubrificante);
- d) emissões de partículas provenientes do desgaste de pneus, freios e embreagem; ressuspensão de partículas de poeira do solo e;

- e) emissões evaporativas de combustível nas operações de transferência de combustível (associadas ao armazenamento e abastecimento de combustível).

2.1. Efeitos dos principais gases emitidos pelos veículos

O monóxido de carbono é um gás incolor, inodoro e extremamente tóxico. No ser humano, ele é rapidamente absorvido pelos pulmões e é levado ao sangue, onde se combina com a hemoglobina, formando a carboxihemoglobina, tornando o sangue incapaz de carrear o oxigênio até as células (Schwela e Zali, 1999). Os efeitos tóxicos do CO dependem tanto do tempo de exposição como da concentração, variando de dores de cabeça, desconforto, cansaço, palpitações no coração, vertigem e diminuição dos reflexos. (Souza, 1997). Em ambientes fechados, pode levar a morte devido a asfixia química.

O dióxido de carbono não é diretamente associado a efeitos nocivos à saúde humana, inclusive sendo o CO₂, juntamente com a água, produto da respiração. Todavia, estudos recentes associam-no como um dos gases responsáveis pela intensificação do efeito estufa, devido a sua capacidade de absorção de radiação infravermelha (Onursal e Gautam, 1995). O problema está no desequilíbrio do ciclo do carbono na natureza, onde está sendo liberado mais CO₂ na atmosfera do que o meio-ambiente é capaz de absorver. Esse excesso de emissões pode ser atribuído a atividades antropogênicas como por exemplo, a queima de combustíveis fósseis.

As emissões de hidrocarbonetos (HC) são particularmente responsáveis pelo mau cheiro oriundo da combustão. Os hidrocarbonetos em geral, causam irritação nas vias respiratórias, anemias, leucemias e câncer pulmonar (AFEEVAS, 2004). Alguns aromáticos são considerados cancerígenos e atacam o sistema nervoso. Oleofínicos e acetilenos integram as reações de formação do smog fotoquímico. O smog fotoquímico causa irritações nos olhos, nariz, garganta e pulmão, e ainda, agrava doenças respiratórias além de causar danos às plantas. Parafínicos possuem efeito narcótico e irritam levemente a mucosa (Souza, 1997).

Os principais óxidos de nitrogênio formados no processo de combustão são o monóxido de nitrogênio (NO), gás inodoro e incolor e o dióxido de nitrogênio (NO₂), gás avermelhado e de odor picante. Os NO_x transformam-se em ácido nítrico em contato com a água, causando chuva ácida. Quando expostos a luz solar e combinados com os hidrocarbonetos criam o smog fotoquímico (Souza, 1997). Os efeitos potenciais do NO₂ na saúde humana são o aumento da ocorrência e severidade de infecções respiratórias e a piora no quadro clínico de pessoas com asma ou outras condições respiratórias crônicas (Schwela e Zali, 1999).

O material particulado é uma mistura de partículas líquidas e sólidas em suspensão no ar. Sua composição e tamanho dependem das fontes de emissão (Saldiva *et al.*, 1995). As partículas menores ou iguais a 10 µm são conhecidas como MP₁₀ ou partículas inaláveis. Tais partículas podem atingir as vias respiratórias inferiores. O perigo para a saúde humana está na capacidade que elas possuem de transportar gases adsorvidos em sua superfície até as porções mais distais das vias aéreas, onde ocorrem as trocas de gases no pulmão (Saldiva *et al.*, 1995). O MP está associado a irritações na mucosa e tosse crônicas, aumento da incidência de crises entre asmáticos e problemas cardio-respiratórios (Saldiva *et al.*, 1995; Schwela e Zali, 1999).

Os aldeídos (R-CHO) são absorvidos nas vias respiratórias e no trato intestinal e são metabolizados. Uma vez metabolizados são excretados do organismo. Os formaldeídos causam irritação nos olhos e no nariz, irritação nas mucosas, náusea e dificuldades na

respiração (Onursal e Gautam, 1995). Tanto os formaldeídos, quanto os acetildeídos são irritantes e cancerígenos (Faiz *et al.*, 1996).

2.2. Fatores que influenciam as emissões veiculares

Diversos fatores influenciam a quantidade e a composição das emissões provenientes dos veículos. Seguem alguns exemplos:

- tipo do motor. Motores com ignição a faísca (ciclo Otto) e os de combustão espontânea (ciclo diesel) emitem poluentes diferentes e em proporções distintas.
- tipo do combustível. A queima de gasolina, álcool, Gás Natural Veicular (GNV) e diesel emite subprodutos diferentes.
- estado de conservação e idade do veículo. Veículos antigos poluem mais devido ao desgaste natural dos componentes do motor e dos sistemas de controle de emissão (SCE). Além do fato de veículos mais novos possuírem SCE mais eficientes.
- sistema viário. Vias que propiciem melhores condições de tráfego ao fluxo de veículos, fazem com que estes venham a poluir menos.
- modo de operação do veículo. Acelerações e desacelerações em excesso, velocidades muito elevadas ou muito baixas contribuem para o aumento da concentração de gases poluentes.
- características climáticas (altitude, umidade relativa do ar, temperatura ambiente). Alteram as condições ideais da combustão, influenciando no consumo e emissão de poluentes.

3. PADRÕES DE EMISSÃO VEICULAR

No início da década de 1950, vários estudos realizados nos Estados Unidos, mais especificamente, no estado da Califórnia, deram as primeiras evidências científicas de que os veículos automotores representavam uma significativa fonte de poluição do ar. A partir disto, verificou-se a necessidade da implantação de medidas de controle sobre a poluição do ar por veículos automotores. Em 1970 foi promulgado o *Clean Air Act*, que estabeleceu reduções para os principais gases emitidos pelos veículos automotores. Em seguida, o Japão e a União Européia promulgaram suas respectivas leis para controle de emissões veiculares. O Brasil teve sua primeira legislação específica somente em 1976, instituindo o Programa de Controle de Emissões veiculares (PROCONVE) em 1986.

Um dos instrumentos utilizados em tais legislações são os padrões de emissão veicular, que estabelecem para os veículos automotores, o limite máximo de emissão de gases poluentes através do escapamento, e em alguns casos, pelo cárter, tanque de combustível e reabastecimento.

De modo sucinto, pode-se dizer que os padrões de emissão veicular pelo escapamento são determinados ao se ensaiar os veículos-teste em um laboratório, sobre um dinamômetro de rolo, sob condições extremamente controladas (temperatura ambiente, combustível utilizado, etc) através da execução de um ciclo de condução específico. Tratando-se este, de uma curva velocidade *versus* tempo. Os resultados são expressos, normalmente, em massa de poluente emitida por distância percorrida. A Figura 1 mostra o ciclo de condução prescrito na norma NBR-6601, baseado no ciclo norte-americano da FTP (*Federal Test Procedure*) 75.

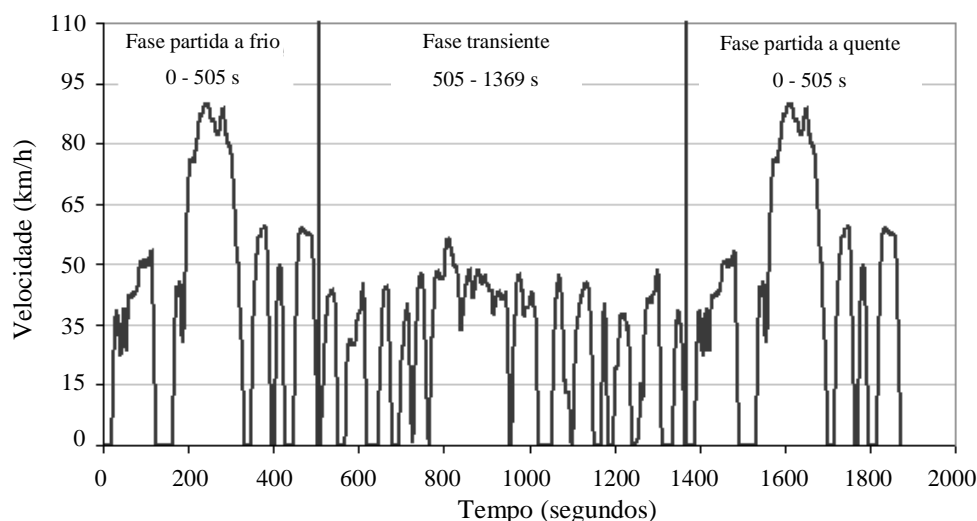


Figura 1: Ciclo de condução NBR-6601 (FTP-75)

Faiz *et al.* (1996) destaca que os padrões de emissão estabelecidos nos Estados Unidos, Europa, Japão e Brasil possuem métodos diferentes para sua determinação, o que impossibilitaria uma comparação direta entre os valores fixados. Entretanto deve ser lembrado que o objetivo básico é sempre o mesmo: estabelecer o limite máximo de emissão para os veículos novos. Na Tabela 1 pode ser observada a comparação dos limites máximos em vigor em 2005 nas quatro comunidades estudadas, e que apesar das diferenças metodológicas, todos os valores apresentam a mesma escala de grandeza e são bastante próximos. Tal comparação é realizada para CO, HC e NO_x, por serem gases regulados nessas comunidades.

Tabela 1: Comparação entre os Padrões de Emissão Veicular

Origem	Ano de vigência	Limites		
		CO (g/km)	HC (g/km)	NO _x (g/km)
Japão	1978	2,70	0,40	0,50
EUA	2004	2,125	0,256	0,250
Europa	2005	1,00	0,10	0,08
Brasil	2005	2,00	0,30	0,25

O Brasil, por utilizar o mesmo ciclo que nos Estados Unidos, apresenta padrões muito semelhantes ao norte-americano. A União Européia (UE) possui limites bem mais restritivos que nas outras comunidades. Todavia, Joumard *et al.* (1996) frisa que os ciclos de testes europeus depreciam as emissões reais entre 15 e 25 % para a mesma velocidade média, ao se comparar a um ciclo de condução mais realista, como o norte-americano, por exemplo. Mesmo com esta consideração, pode concluir o alto nível de exigência contido na legislação da UE. Os limites Japoneses estão em vigor desde 1978 e encontram-se desatualizados quando comparados aos demais padrões.

A durabilidade dos níveis de emissão estabelecidos no Estados Unidos e Brasil exigem do fabricante uma validade de 80 mil quilômetros, enquanto que o Japão exige 30 mil km. Na UE os limites são exigidos apenas para veículos novos (conformidade da produção).

O uso destes padrões para regulamentação pode ser extrapolado para outros usos mais diversos. Por exemplo, a CETESB utiliza-se desses padrões para o cálculo de Inventário de emissões veiculares, considerando a participação da frota e idade da mesma calculando

Fatores de Emissão (CETESB, 1985). Estes Fatores de Emissão (FE) ainda podem ser utilizados em simuladores de tráfego para estimativas da emissão de poluentes devido ao tráfego alocado em uma via ou sistema viário (Cybis, 2002). Todavia, deve-se lembrar que tais FE são calculados a partir de valores obtidos laboratórios, onde as situações são rigorosamente controladas. Nas vias, em meio ao fluxo normal, é esperado que os valores absolutos variem, em virtude de fatores como os apresentados no item 2.2. Portanto, ao se realizar uma simulação, deve-se ter em mente esta variação não mensurada; ou obter estes valores nas condições reais de operação.

4. VALORES REFERENCIAIS

Os padrões de emissão veicular podem ser utilizados para calcular fatores de emissão ou valores referenciais da emissão de poluentes. Valores referenciais, por exemplo, podem ser utilizados para se simular cenários distintos da poluição gerada pelos veículos automotores: otimista, normal e pessimista.

Nos últimos anos, a comunidade científica tem verificado que os testes realizados em laboratórios não são capazes de refletir adequadamente as emissões veiculares por não representarem satisfatoriamente as condições reais de operação. Segundo DeCicco e Thomas (1998), as medições em laboratório das emissões veiculares possuem pouca relação com as emissões reais do veículo em uso em função de diversos fatores, elevando os resultados médios de 2 a 4 vezes maior que os valores estabelecidos pelos padrões de emissão (g/km), de acordo com o gás analisado (CO, HC ou NO_x).

O ciclo de condução urbana utilizado pela FTP norte-americana, considerado mais realista, é baseado no comportamento simulado de uma única mulher da cidade de Los Angeles. (Austin *et al.*, St. Denis *et al.*, Ross *et al.* *apud* Hólmen e Niemeier, 1999). Novos ciclos de testes estão sendo propostos, pois o atual ciclo FTP-75 aparentemente, é muito limitado para simular o comportamento autêntico de um condutor do mundo real. (Hólmen e Niemeier, 1999). De acordo com tais considerações, sendo possível se obter os valores referenciais a partir de dados coletados nas condições reais de operação, espera-se que tais valores representem de forma fidedigna o comportamento e variação das emissões reais dos veículos. Obtendo assim, resultados mais próximos da realidade, se comparado a aqueles obtidos em laboratório.

A legislação brasileira estabelece diretrizes e padrões legais de emissões veiculares admissíveis e estipula que estas emissões sejam mensuradas em g/km. Ensaios realizados em laboratórios de testes de emissão colocam o veículo sobre um dinamômetro de rolo, e aplicando o método de amostrador de volume constante, fornecem os resultados em g/km (Faiz *et al.*, 1996), conforme exige a legislação do CONAMA. Melo (2004) afirma que tais procedimentos são complexos, demorados e dispendiosos, exigindo instalações de alto valor agregado, verificando a necessidade do desenvolvimento de uma alternativa a tais métodos.

Partindo desta premissa, Melo (2004) desenvolveu uma metodologia capaz de obter resultados semelhantes a aqueles obtidos em laboratórios. A partir deste ponto, este trabalho trouxe contribuições a aplicação dos procedimentos propostos pela metodologia, e aplicou-a em ensaios para a determinação de valores referenciais.

4.1. Metodologia aplicada

A metodologia desenvolvida do Melo (2004) permite determinar o nível de emissão de HC, CO, CO₂, e NO_x, expressos em grama de poluente emitido por quilômetro percorrido (g/km), nas condições reais de operação do veículo, ou seja nas vias em meio ao fluxo local de

veículos.

Para tal, Melo (2004) desenvolveu três sistemas, que foram aprimorados neste trabalho:

- Sistema de análise de gases, capaz de aferir a composição do gás que sai pelo tubo de escapamento do veículo.
- Sistema de medição de vazão, responsável por mensurar a vazão de gás que sai pelo escapamento.
- Sistema de medição de deslocamento, que permite a obtenção da distância percorrida, velocidade instantânea e velocidade média.

Os três sistemas, funcionando em paralelo e programados para realizarem a leitura dos dados a cada segundo, são conectados a um computador portátil (*notebook*), onde as leituras serão armazenadas e posteriormente utilizadas para o cálculo das emissões médias em g/km. A Figura 2 ilustra a disposição da instalação dos sistemas no veículo-teste.

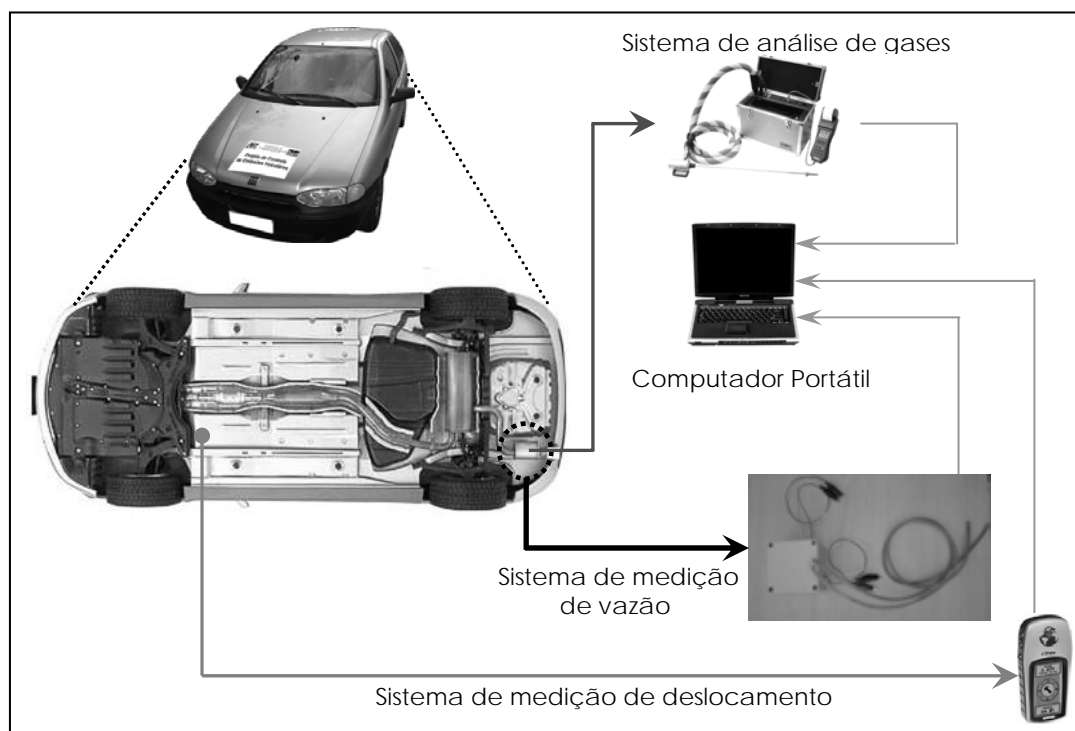


Figura 2: Disposição no veículo-teste dos sistemas utilizados

Após a etapa de desenvolvimento dos sistemas, partiu-se para a preparação dos ensaios onde foram seguidos os seguintes passos:

- Diagnóstico do veículo-teste, verificando o motor e a linha de descarga para detectar problemas que poderiam influenciar o resultado dos ensaios.
- Calibração e aferição dos equipamentos, garantindo que o erro das leituras seja o menor possível.
- Instalação dos equipamentos (conforme ilustrado na Figura 2).
- Execução de pré-teste, para verificar o funcionamento correto dos instrumentos.

Concluída a fase de preparação dos ensaios, procedeu-se com a realização dos ensaios:

- Escolha da via e o trecho onde se realizará os ensaios, feita de acordo com a variável a ser estudada.
- Deslocamento ao local de partida pré-determinado.
- Reinício dos sistemas no local pré-determinado, efetuando a sincronização e programação para início e término das leituras.

Durante os ensaios o veículo é conduzido em meio ao fluxo de tráfego local, respeitando o código de trânsito vigente.

4.2. Realização dos ensaios

O veículo adotado nos ensaios foi um veículo leve (representando 79,81 % da frota nacional de veículos), compacto (34,59 % da frota) e à gasolina (81,39 % da frota), de acordo com ANFAVEA (2005); FENABRAVE (2005) e DENATRAN (2005). A motorização 1.6 litro foi adotada, levando em consideração o fato de Melo (2004) ter utilizado um veículo 1.0 como objeto de estudo em seu trabalho.

Foi analisado o comportamento das emissões do veículo em quatro estudos paramétricos (onde uma variável varia e as demais são fixadas) diferentes, conforme exposto nos itens a seguir.

4.2.1. Ciclo de condução

Neste estudo, avaliou-se a influência da velocidade média do percurso nas emissões veiculares. Quatro locais diferentes de um mesmo conjunto de vias foi selecionado, onde cada trecho percorrido permitia o desenvolvimento de velocidades médias distintas.

4.2.2. Via

O estudo foi aplicado em quatro vias com classificações distintas, de acordo com o Sistema Viário Nacional na modalidade rodoviária: via expressa primária, via arterial primária, via arterial secundária comercial, via arterial local.

4.2.3. Modo de condução do veículo

Foram selecionados dois condutores, que apresentavam perfis divergentes: o primeiro que dirigia defensivamente e o segundo, de modo agressivo.

4.2.4. Catalisador

Três situações distintas foram estudadas. A primeira com o catalisador antigo, com uma quilometragem de aproximadamente 90 mil km, superior à vida útil estabelecida pelo PROCONVE (80 mil km). A segunda com o veículo-teste sem o catalisador. A terceira situação, com um catalisador novo, original de fábrica.

4.3. Determinação dos valores referenciais

Os valores referenciais do nível de emissão de poluentes compreendem um desvio em torno de um valor médio. O valor médio do intervalo será utilizado para compor o cenário denominado normal, assim como o limite superior será definido como cenário pessimista e o limite inferior será definido como cenário otimista. O cenário otimista refere-se a uma situação que considera veículos novos, em bom estado de conservação e boas condições de tráfego. O cenário pessimista considera veículos antigos, com má conservação e condições

adversas de circulação nas vias. O cenário normal considera uma situação intermediária dentre os dois primeiros cenários considerados.

Deste modo, todos os índices médios de emissão obtidos durante os ensaios, mais aqueles obtidos por Melo (2004) foram utilizados para compor os cenários que representariam grande parte da frota brasileira, os veículos 1000 e compactos, significando 64,82 % da frota nacional de veículos (FENABRAVE, 2005).

Foi utilizada estatística descritiva para se obter os valores médios a partir da amostra. Os limites inferior e superior foram calculados a partir do nível de confiança de 95 % estabelecido para o intervalo de dados. Os resultados obtidos pelos quatro testes descritos no item 4.2 podem ser observados na Tabela 2.

Tabela 2: Valores referenciais do nível de emissão de gases para veículos automotores leves do ciclo Otto

	CO (g/km)	CO ₂ (g/km)	NO _x (g/km)	HC (g/km)
Cenário otimista	1,16	70,27	0,10	3,39
Cenário normal	2,00	112,36	0,21	4,54
Cenário pessimista	2,83	154,45	0,32	5,69

Os valores exibidos na Tabela 2 foram calculados somente para gases estudados que são regulados pelo PROCONVE (CO, NO_x e HC) mais o CO₂, que é um importante gás na intensificação do efeito estufa.

Existem diferenças metodológicas para a determinação dos padrões de emissão veicular. Todas as comunidades apresentadas do item 3 possuem seus próprios ciclos de condução e metodologias de cálculo, diferenças essas que determinam resultados finais diferenciados. Além disso, as próprias características da frota veicular e combustível utilizado influenciam tais resultados. Teoricamente, não deveriam ser feitas comparações diretas entre diversos padrões de emissão e os valores referenciais obtidos neste estudo. Entretanto, se vislumbrarmos a utilização desses valores como Fatores de Emissão para uso em simulações, poderemos detectar as diferenças que existirão entre um estudo que utiliza índices estrangeiros e outro que utiliza valores oriundos da realidade brasileira. Desta forma, a Tabela 3 apresenta uma comparação entre os padrões de emissão veicular vigentes no ano corrente de 2005 para diversos países, e os valores referenciais, baseados em estudos realizados nas condições reais de operação.

Tabela 3: Comparação dos valores referenciais com os padrões de emissão

Origem	Limites		
	CO (g/km)	HC (g/km)	NO _x (g/km)
Japão	2,70	0,40	0,50
EUA	2,125	0,256	0,250
Europa	1,00	0,10	0,08
Brasil	2,00	0,30	0,25
Cenário otimista	1,16	3,39	0,10
Cenário normal	2,00	4,54	0,21
Cenário pessimista	2,83	5,69	0,32

Os gases comparados são o CO, o HC e o NO_x por serem regulados ao mesmo tempo em todos os casos, permitindo a comparação entre os valores.

Para o CO, vemos que o cenário normal está nivelado com os demais padrões. Já o cenário pessimista está 41,50 % acima do padrão brasileiro, por exemplo. Se compararmos com o padrão vigente na Europa, teríamos uma distorção na ordem de 183,00 %, ou 2,83 vezes a mais para este valor.

Para o NO_x, observamos que o cenário normal está próximo aos padrões brasileiro e norte-americano e bem acima do rigoroso padrão estabelecido na Europa (162,50 %). Em relação ao padrão brasileiro, encontraríamos uma diferença (para menos) de 19,05 % no valor estabelecido. Para o cenário pessimista, teríamos diferenças maiores nos índices deste poluente, maior que o padrão brasileiro em 28,0 %.

Para o HC, observa-se que os resultados para os cenários estão em uma ordem de grandeza acima, em torno de dez vezes, assim como no estudo realizado por Melo (2004). Os cálculos foram revisados e não foram identificados incoerências ou erros. Assim, os resultados serão considerados estes. Com tais valores, observa-se que as emissões de HC em g/km, nas condições reais de operação guardam pouca semelhança com os valores obtidos em laboratório.

5. CONCLUSÕES

A dispersão dos valores obtidos nos diferentes estudos paramétricos durante os ensaios, possibilitou o cálculo dos valores referenciais, a principal contribuição deste trabalho. De posse de tais informações, o planejador pode utilizar simulações sobre cenários diversos, incluindo-se aqueles propostos neste trabalho, para projeção da parcela da poluição do ar, gerada pelos veículos, em uma determinada via ou região. Além disso, os resultados podem ser divulgados para conscientização da sociedade, que percebendo de que maneira o indivíduo e seu veículo poluem a atmosfera, poderá avaliar que seu comportamento ao dirigir ou a constante manutenção do veículo podem melhorar a qualidade do ar que respira, e conseqüentemente sua qualidade de vida.

Os valores referenciais foram obtidos sobre uma amostra relativamente pequena e não exaustiva, porém representativa, da frota nacional. Futuramente, esta amostra poderá levar em conta outras categorias de veículos e avaliar o comportamento de outras variáveis. Por isso, deve-se ter em mente que os valores referenciais calculados neste trabalho podem ser constantemente atualizados à medida que novos estudos nesta linha de pesquisa forem realizados.

Os valores referenciais obtidos para o CO e NO_x estão na mesma escala de grandeza dos limites de emissão impostos pelo PROCONVE, principalmente no cenário normal. Para o HC os resultados são em torno de 10 vezes (ou 900 %) maiores do que aqueles estabelecidos pela legislação brasileira, sendo este ponto ainda não compreendido, sujeito a estudos mais aprofundados em pesquisas posteriores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AFEEVAS** (2004). Entenda o funcionamento do catalisador. Disponível em http://www.afeevas.org.br/Imagem/imagem_catalisador.png. Último acesso em 05/08/2004.
- ANFAVEA** (2005). *Anuário estatístico da Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores – 2004*. Disponível em <http://www.anfavea.com.br/anuarioestatistico>. Último acesso em 25/02/2005.
- CETESB** – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (1985). *Inventário de emissão veicular* –

Metodologia de cálculo. São Paulo, SP.

- CETESB** – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (1997). *Relatório Anual de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo - 1996*. São Paulo, SP.
- CETESB** – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (2005). *Relatório Anual de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo - 2004*. São Paulo, SP.
- CYBIS**, H. B. B. e **JACONDINO**, G. B. (2002) – *Avaliação de modelos de emissão de poluentes em simuladores de tráfego*. Anais do XVI Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, vol. I. Rio de Janeiro, RJ.
- DECICCO**, J. e **Thomas**, M. (1998). *Rating the Environmental Impacts of Motor vehicles: The green Guide to Cars and Trucks Methodology, 1998 Edition*. American Council for an Energy – Efficient Economy, Washington, D.C.
- DENATRAN** – Departamento Nacional de Trânsito (1980). *Tráfego e Meio Ambiente*. Rio de Janeiro, RJ.
- DENATRAN** – Departamento Nacional de Trânsito (2005). *Frota de veículos, por ano de fabricação, segundo as Grandes Regiões e Unidades da Federação – Setembro de 2004*. Disponível em: <http://www.denatran.gov.br/estatisticas>
- FAIZ**, A.; **WEAVER**, C.S. e **WALSH**, M. P. (1996). *Air pollution from motor vehicles: standards and technologies for controlling emissions*. The International Bank for Reconstruction and Development/The World Bank, Washington, D.C.
- FENABRAVE** - Federação Nacional da Distribuição de Veículos Automotores (2005). *Semestral da distribuição de veículos automotores no Brasil – 2004*. FENABRAVE. São Paulo, SP.
- HOLMÉN**, B. A.; **NIEMEIER**, D. A. (1997). *Characterizing the effects of driver variability on real-world vehicle emissions*. University of California, Davis – CA.
- JOUMARD**, R. L.; **PATUREL**, R.; **VIDON**, J. P.; **GUITTON**, A.; **SABER** e **COMBET**, E. (1990). *Emissions Unitaires de Polluants des Véhicules Légers*. Report 116 (2nd ed.) Institut National du Recherche sur les Transports et Leur Securite – INRETS, Bron, France. Citado em *Faiz et al.* (1996).
- MELO**, C. R. V. de (2004). *Desenvolvimento de uma metodologia para determinar os níveis de emissão do escapamento de veículos automotores leves do ciclo Otto em condições reais de operação*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília – UNB, Brasília –DF.
- ONURSAL**, B. e **GAUTAM**, S. P. (1995) *Contaminación Atmosférica por vehiculos automotores: Experiências recorridas en siete centros urbanos de América Latina*. Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento/Banco Mundial, Washington, D.C.
- ROVERE**, E.L.; **MENDES**, F.E.; **SZWARCFITER**, L.; **MATTOS**, L.B. e **SZWARC**, A. (2001). *Avaliação do PROCONVE – Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores*. LIMA/COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro – RJ.
- SALDIVA**, P. H. N.; **PEREIRA**, L. A. A. e **BRAGA**, A. (1995). *Poluição atmosférica e seus efeitos na saúde humana*. Faculdade de Medicina da USP. São Paulo – SP.
- SCHWELA**, D. e **ZALI**, O. (1999). *Urban Traffic Pollution*. World Health Organisation – WHO, Londres, Inglaterra.
- SOUZA**, M. T. (1997) *Estudo das emissões veiculares*. Relatório de estágio supervisionado, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Brasília, Brasília – DF.

Endereço dos autores:

Carlos Alberto Gurgel Veras (gurgel@unb.br)

Ítalo Marques Filizola (italo@cultura.com.br; marques.filizola@cidades.gov.br)

Yaeko Yamashita (yaeko@unb.br)

SQN 406 Bloco E Apto. 106, Brasília-DF. CEP 70847-050