

AS EMISSOES VEICULARES E OS GASES DO
EFEITO ESTUFA

Vanderlei Borsari

ARQUIVO TECNICO

8206
B645e
038791



31638



038791

As Emissões Veiculares e os Gases do Efeito Estufa

Vanderlei Borsari
Cetesb - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do
Estado de São Paulo

**CETESB - Companhia de Tecnologia
de Saneamento Ambiental**
Biblioteca Prof^o Dr.^o Lucas Nogueira Garcez
Av. Prof^o Frederico Hermann Jr, 345 - Pinheiros
e-mail: biblioteca@cetesb.sp.gov.br
05459 900 - São Paulo - Brasil

**SAE BRASIL
SAE BRASIL**

Filiada à

SAE International

**Congresso 2005
SAE BRASIL**

XIV Congresso e Exposição Internacionais
da Tecnologia da Mobilidade
São Paulo, Brasil
22 a 24 de novembro de 2005

AV. PAULISTA, 2073 - HORSIA II - CJ. 1003 - CEP 01311-940 - SÃO PAULO - SP

**CETESB - Companhia de Tecnologia
de Saneamento Ambiental**
Biblioteca Prof^o Dr.^o Lucas Nogueira Garcez
Av. Prof^o Frederico Hermann Jr, 345 - Pinheiros
e-mail: biblioteca@cetesb.sp.gov.br
05459 900 - São Paulo - Brasil

CLASS.	8206
AUTOR	B6452
TOMBO	3891

As Emissões Veiculares e os Gases do Efeito Estufa

Vanderlei Borsari
CETESB

Copyright © 2005 Society of Automotive Engineers, Inc

RESUMO

O aquecimento global resultante do aumento nas concentrações de gases do efeito estufa (GEE's) é um dos principais problemas ambientais que o mundo enfrenta atualmente.

Atividades humanas estão alterando a composição da atmosfera através da emissão de GEE's, particularmente dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O) e hidrofluorcarbonos. Os veículos automotores são uma fonte de emissão desses gases, tanto diretamente, através da emissão de gases pelo escapamento, como também através das emissões por perdas e vazamentos do sistema de ar condicionado, e das emissões oriundas do processo de produção dos combustíveis usados pelos mesmos. Este trabalho visa delinear as características dos diferentes GEE's e a contribuição de cada um deles, levando em conta seu potencial na formação do efeito estufa, e as variações nas emissões devidas a diferentes configurações veiculares e diferentes combustíveis. Irá descrever também a legislação já implementada no estado americano da Califórnia visando o controle da emissão de GEE's por veículos e os meios empregados tanto no controle como nas medições desses poluentes.

Abstract

The global warming as a result of the increase in atmospheric concentrations of greenhouse gases (GHG's) is one of the most important environmental problems that the world faces today.

Human activities are changing the atmosphere composition by the emission of GHG's particularly, carbon dioxide (CO₂), methane (CH₄), nitrous oxide (N₂O) and hydrofluorcarbons. The motor vehicles are one of the sources of GHG's emissions, directly, by the tailpipe emissions and by the emissions from the air conditioning system leakage losses. The upstream emissions from the production of the fuel used can also be associated to the vehicles. This paper will present an outline to the characteristics of the several GHG's and the contribution of each one, take into account their potential on the greenhouse effect; and the changes of the emissions due to the various vehicle configurations and fuel used. It will also

describe the recent implemented legislation in California-USA for the control of the GHG's emissions from vehicles and the technologies used to control and to measure that pollutants.

1. Introdução

A relação entre a emissão antropogênica de gases do efeito estufa (GEE's), o aumento de sua concentração na atmosfera e o consequente aumento na temperatura do planeta, foi estabelecida e é aceita pela grande maioria da comunidade científica.

Em 1988 já havia sido criado pela Organização Meteorológica Mundial, em conjunto com o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, o Painel Intergovernamental sobre Mudança de Clima (IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change). A fim de tratar desse assunto, a Organização da Nações Unidas (UN) estabeleceu a Convenção Quadro sobre Mudança do Clima (UNFCCC) em 1992, reconhecendo que ela poderia ser a propulsora de futuras ações. Os países membros da Convenção anualmente se encontram na Conferência das Partes (COP), para revisar a implementação da Convenção e dar continuidade às discussões sobre as estratégias para enfrentar o problema das mudanças climáticas.

Na terceira Conferência das Partes, realizada em Quioto - Japão em 1997, foi estabelecido um Protocolo no qual os países desenvolvidos (Anexo I do Protocolo), se comprometem com prazos e metas a limitarem a emissão de gases do efeito estufa, excluindo-se os regulamentados pelo Protocolo de Montreal. A redução dos gases nesses países do Anexo I são em média de 5,2% em relação aos níveis de 1990 (os países possuem metas diferenciadas) entre os anos de 2008 e 2012. Os gases de efeito estufa, alvo de redução no Protocolo de Quioto são: o dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), hidrofluorcarbonos (HFC's), perfluorcarbonos (PFC's), e hexafluoreto de enxofre (SF₆). Finalmente em fevereiro de 2005, com a adesão da Rússia, atingiu-se um número de países signatários de tal forma que representem 55% das emissões e o Protocolo entrou em vigor.

No Protocolo foram definidos mecanismos de flexibilização a serem utilizados para viabilizar o cumprimento das metas acertadas. São eles: o mecanismo

de desenvolvimento limpo – MDL (CDM – clean development mechanism), a implementação conjunta (JI – joint implementation) e o comércio de emissões (emissions trading). Os mecanismos de flexibilização buscam a redução do custo global para atingir todas as metas de redução do Protocolo de Quioto (Mattos, 2001).

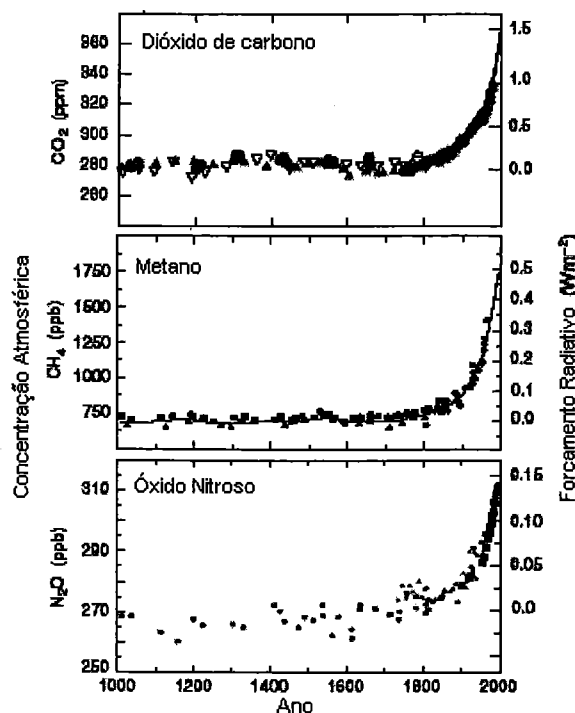
É preciso diferenciar o efeito estufa do aquecimento global. O dois fenômenos estão intimamente relacionados, mas não são de forma alguma o mesmo fenômeno. O aquecimento global é o aumento potencial da temperatura média global resultante do aumento da concentração dos gases do efeito estufa na atmosfera. O aumento da concentração dos gases do efeito estufa é relacionado à emissão antropogênica dos mesmos devido, por exemplo, à queima dos combustíveis fósseis como o carvão, o gás natural e o petróleo, à combustão da biomassa das florestas, o desmatamento, entre outras causas.

Já o efeito estufa é o aquecimento da superfície da Terra e da atmosfera devido à presença de gases que possuem a propriedade de reter o calor, como o vidro de uma estufa de plantas. A cobertura de gases, permite a passagem da radiação solar, mas evita a liberação da radiação infravermelha emitida pela superfície da Terra. O efeito estufa chamado de natural, resulta numa temperatura média da Terra em torno de 15°C. Se não houvesse o efeito estufa natural a temperatura na superfície da Terra estaria em torno de -18°C.

Os principais gases do efeito estufa são: O vapor d'água (H₂O), o dióxido de carbono (CO₂), o metano (CH₄), o óxido nitroso (N₂O), o ozônio (O₃), o hexafluoreto de enxofre (SF₆), os clorofluocarbonos (CFC's), os hidrofluocarbonos (HFC's) e os perfluocarbonos (PFC's) (MCT, 1999a). (Mattos, 2001)

Medições diretas da concentração de CO₂ na atmosfera iniciaram-se em meados do século vinte e ainda mais recentemente para outros gases como o metano. No entanto dados paleo-atmosféricos medidos a partir de amostras de gelo polar revelam a mudança na concentração para alguns dos GEE's. Esses dados revelam a influência humana na concentração desses gases na atmosfera através do milênio. A figura 1 mostra claramente o crescimento das emissões antropogênicas durante a era industrial. (IPCC, 2004)

Figura 1: Registros das mudanças na composição atmosférica para CO₂, CH₄ e N₂O nos últimos 1000 anos.



Nota: Os dados de amostras de gelo oriundas de diferentes sítios na Antártica e Groenlândia, complementados com dados de medição direta nas últimas décadas.

Fonte: IPCC, 2004. Adaptado.

Tabela 1: Exemplos de GEE's que são afetados pelas atividades humanas:

	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Concentração pré industrial	Cerca de 280 ppm	Cerca de 700 ppb	Cerca de 270 ppb
Concentração em 1998	365 ppm	1745 ppb	314 ppb
Taxa de alteração na concentração^b	1,5 ppm/ano ^a	7,0 ppb/ano ^a	0,8 ppb/ano
Tempo de permanência na atmosfera^c	5 a 200 anos ^c	12 anos	114 anos

Notas:

a- Taxa flutuou entre 0,9 ppm/ano e 2,8 ppm/ano para CO₂ e entre 0 e 13 ppb/ano para CH₄ entre 1990 e 1999.

b- Taxa calculada entre 1990 e 1999.

c- Não há um tempo de vida único definido para CO₂ devido a diferentes taxas usadas por diferentes processos de remoção.

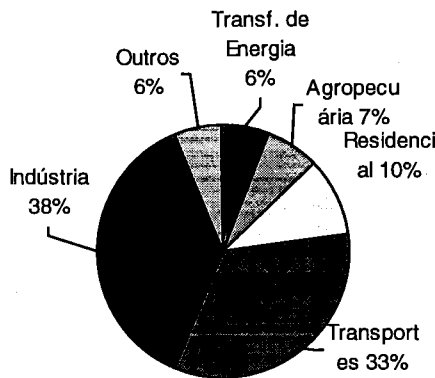
2 As emissões de gases do efeito estufa por fontes móveis¹

Em termos mundiais, as emissões de CO₂ variaram de 21.139 milhões de toneladas de CO₂ em 1988 para 22.726 milhões de toneladas em 1998, um aumento de 7,5 % em 10 anos.

Nos Estados Unidos, a predominância da emissão CO₂, no setor de transportes, se dá no modal rodoviário que é responsável por quase 80% das emissões, sendo que 39% delas provem dos automóveis.

Em comparação com os países desenvolvidos, o Brasil não é um grande emissor de gases do efeito estufa no setor energético. Isso se deve ao fato de ser o Brasil um país tropical, com invernos moderados e por mais de 60% de sua matriz energética ser suprida por fontes renováveis. Mais de 95% da eletricidade brasileira é gerada por usinas hidrelétricas e há uma ampla utilização de biomassa.² (BRASIL, 2002)

Figura 2: Setores responsáveis pela emissão de CO₂ no Brasil no ano de 1990 (sem desmatamento).



Fonte: Mattos, 2001. Adaptado.

Desconsiderando o desmatamento, que é uma das grandes fontes emissoras de gases do efeito estufa no Brasil, devido à decomposição da matéria orgânica desmatada, a figura 3 mostra os principais responsáveis pelas emissões de CO₂ no país. Nota-se que o setor de transportes tem grande importância pois contabiliza cerca de 33% das emissões.

De acordo com BRASIL, MCT, 2002, a frota brasileira de veículos leves em 1994 (11,745 milhões de veículos), foi responsável por emissões de 21.940 Gg de CO₂, 5,7 Gg de CH₄ e 1,04 Gg de N₂O. Entre 1990 e 1994 importantes mudanças ocorreram no perfil das emissões da

1 - Veículos rodoviários automotores equipados com motores de combustão interna

2 - Utilização de álcool nos veículos, uso do bagaço da cana-de-açúcar para a geração de vapor, uso de carvão vegetal na indústria siderúrgica, etc.

frota de veículos leves. As emissões de CO₂ cresceram 44%, as de N₂O 28%, enquanto as emissões de CH₄ diminuíram 16%, apesar do crescimento de 14% da frota. Isso ocorreu pela modificação do perfil da frota. Os veículos fabricados mais recentemente apresentam fatores de emissão menores, exceto para os fatores de emissão do CO₂ e do N₂O. O aumento da eficiência na queima dos combustíveis nos modelos mais recentes implicou em maiores emissões de CO₂. Por outro lado, o aumento da parcela de álcool anidro na mistura da gasolina nacional reduziu o ritmo no aumento das emissões líquidas de CO₂.

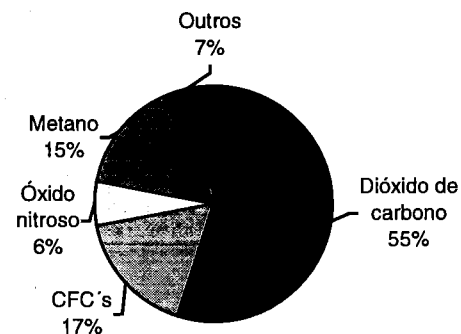
O consumo de álcool etílico pela frota nacional faz com que as emissões de gases do efeito estufa do setor de transportes sejam substancialmente inferiores ao que poderia ser se o único combustível utilizado fosse a gasolina pura. As emissões de CO₂ evitadas, de 1990 a 1994, ficaram entre 42% e 46% das emissões hipotéticas de CO₂. (BRASIL, 2002)

3 Emissões de Gases do Efeito Estufa por Veículos Automotores

Os principais gases do efeito estufa emitidos por veículos automotores são dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O) e hidrofluorcarbonos (HFC's). Essas emissões incluem:

- CO₂, CH₄ e N₂O emitidos pelo escapamento na operação dos veículos,
- CO₂ emitido como resultado da operação do sistema de ar condicionado do veículo,
- HFC emitido do sistema de ar condicionado devido a vazamentos, perdas durante a recarga, ou liberação quando do sucateamento ou acidente com o veículo,
- emissões associadas à produção do combustível utilizado pelo veículo.

Figura 3: Contribuição dos diversos GEE's no aumento do forçamento radiativo durante a década de 1980



Fonte: Mattos, 2001. Adaptado.

3.1 Características dos gases citados

3.1.1 Dióxido de Carbono (CO₂)

O carbono presente na atmosfera existe principalmente em sua forma oxidada como CO₂, cujo aumento em concentração está ligado ao aumento na combustão de combustíveis fósseis.

Geralmente observamos que quanto mais recente o modelo de um veículo, é menor a quantidade de gases poluentes emitidos, exceto para o CO₂, para o qual essa relação se inverte. Quanto mais novo o modelo, mais eficiente é a combustão, gerando menos gases derivados da combustão incompleta e portanto mais CO₂.

Em quatro anos, de 1990 a 1994, o CO₂ teve suas emissões aumentadas de 44%, o que significa uma taxa média de crescimento de quase 10%. Esse aumento se deve aos seguintes fatores:

- 1- o crescimento da frota de veículos,
- 2- a melhoria na eficiência do veículo nacional que ao aumentar a eficiência de combustão, reduz as emissões relacionadas à combustão incompleta mas aumenta as emissões de CO₂,
- 3- a mudança na estrutura da frota que constituía-se cada vez menos de carros movidos a álcool. (BRASIL, 2002)

3.1.2 Metano (CH₄)

O metano é produzido principalmente durante a decomposição anaeróbica de matéria orgânica em sistemas biológicos. No Brasil, a fermentação entérica do gado é responsável por 68% do metano emitido. Também são fontes significativas de emissão as mudanças de uso da terra e florestas, o tratamento de resíduos e os dejetos de animais. (BRASIL, 2002, p.2)

No entanto, as emissões de metano podem contribuir significativamente para o total das emissões de GEE's considerado o ciclo de vida de um combustível convencional usado no transporte. Por exemplo; juntamente com o N₂O, o CH₄ contribuem com cerca de 15% da emissão de GEE's no ciclo de vida total da utilização de combustível em um veículo a gasolina. (Lipman, 2002)

Os modernos veículos dotados de catalisadores de três vias, são eficazes em remover o CH₄ dos gases de escapamento, assim é bem provável que com as restrições cada vez maiores dos limites de emissão de poluentes, automaticamente as emissões de CH₄ também tenderão a diminuir. Uma possível exceção a essa tendência seria a de veículos movidos a gás natural veicular (GNV), embora para que a contribuição se torne de tal monta que represente um real impacto ambiental, teríamos que ter uma parcela substancial da frota movida a GNV.

3.1.3 Óxido Nitroso (N₂O)

O óxido nitroso é produto da reação que ocorre entre nitrogênio e oxigênio durante a combustão, mas os detalhes de sua formação são complexos e dependem muito do tipo de sistema de controle de emissão empregado. Em veículos leves a emissão de N₂O depende em grande parte do tipo e da temperatura do catalisador. As altas

temperatura e pressão presentes na câmara de combustão dos motores são suficientes para produzir NO_x, mas são ineficientes na produção de N₂O. Assim, veículos sem catalisador tendem a produzir uma quantidade menor de N₂O. (Lipman, 2002)

3.1.4 Ozônio (O₃)

O ozônio, além de absorver a radiação ultravioleta emitida pelo sol, absorve a radiação infravermelha emitida pela superfície terrestre. A maior parte do ozônio existente no planeta encontra-se na estratosfera, cerca de 90%. O restante encontra-se na troposfera. A concentração de ozônio, tanto estratosférico quanto troposférico, varia de acordo com a localidade e o tempo. Ainda existem dificuldades e incertezas na quantificação desse gás na estratosfera e na sua participação na acentuação do efeito estufa. No entanto, sabe-se que a sua presença na troposfera desempenha papel importante no aquecimento global. Estima-se que a retirada de metade do ozônio existente na troposfera acarretaria um resfriamento de cerca de 0,5°C da temperatura do globo. Além disso a redução na formação do ozônio troposférico significa a melhoria da qualidade do ar nas cidades, já que esse gás possui efeitos prejudiciais à saúde e é hoje um poluente monitorado continuamente nos grandes centros urbanos (Mattos, 2001). Seu controle entretanto é complexo pois trata-se de um poluente secundário, originado através de reações fotoquímicas ocorridas na atmosfera, na presença de outros poluente, ditos precursores do ozônio. São eles: óxidos de nitrogênio (NO_x), compostos orgânicos voláteis (COV's) e monóxido de carbono (CO), cuja maior fonte são as emissões veiculares.

3.1.5 Hidrofluorcarbonos (HFC's)

Os HFC's são primariamente utilizados como substitutos para as substâncias que danificam a camada estratosférica de ozônio, regulamentadas no Protocolo de Montreal. As emissões veiculares de HFC's são oriundas de 4 fontes, relacionadas com o sistema de ar condicionado: Emissões devido a vazamentos nos componentes do sistema de ar condicionado; emissões devidas a escapamento de gás quando da manutenção do sistema; emissões devido ao sucateamento de veículos; ou quando o veículo sofre acidentes no trânsito. Atualmente o gás R-134a conhecido também como HFC-134a é o mais utilizado pelos fabricantes de veículos. Neste trabalho as emissões desses gases não serão quantificadas.

3.2 O Potencial de Aquecimento Global (GWP)

O forçamento radiativo é especificado como a mudança em fluxo de energia na atmosfera, e é expressa em watts por metro quadrado (W/m²), ou seja calor por unidade de área da superfície da Terra. Para comparar as ações dos diferentes gases de efeito estufa no aquecimento global (GWP, da sigla em inglês Global warming potencial). O coeficiente do GWP é definido como o forçamento radiativo cumulativo entre o presente e algum horizonte de tempo causado por uma unidade de massa de gás emitido

atualmente, expresso com relação a um gás de referência tal como o CO₂. O GWP é calculado, portanto, como a razão do forçamento radiativo que seria resultante de um quilograma de um gás de efeito estufa com a de um quilograma de dióxido de carbono durante um período de tempo (quase sempre adotado como 100 anos). O GWP é uma tentativa de fornecer uma medida simples dos efeitos radiativos relativos de diferentes gases estufa, tendo-se o CO₂ como referência (Mattos, 2001). Assim, após se realizar a medição dos GEE's de uma determinada fonte, multiplica-se cada valor pelo GWP apropriado, e expressa-se o resultado em CO₂ equivalente (CO_{2eq}). Existem, no entanto, outros pontos que se precisa ter em mente ao usar o GWP:

- O valor da incerteza é de mais ou menos 35%, não incluindo a incerteza do CO₂ de referência;
- Os GWP's são baseados no conceito do forçamento radiativo e são, portanto, difíceis de aplicar em componentes com forçamentos radiativos importantes que estão irregularmente distribuídos na atmosfera;

Tabela 2: Potencial de Aquecimento Global (GWP).

Poluentes	Tempo de vida (anos)	Potencial de Aquecimento Global (GWP)		
		20 anos	100 anos	500 anos
CO ₂	~150	1	1	1
CH ₄	12	62	23	7
N ₂ O	114	275	296	156
HFC-134a	~14	3300	1300	400

Fonte : IPCC, 2004. Adaptado

4 O Atual Controle de Emissões Veiculares

Constatada a gravidade da poluição gerada pelos veículos, a CETESB, durante a década de 80, desenvolveu as bases técnicas que culminaram com a Resolução nº 18/86 do CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente, que estabeleceu o PROCONVE – Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores, posteriormente complementada por outras resoluções. O PROCONVE foi baseado na experiência internacional dos países desenvolvidos e exige que os veículos novos atendam a limites máximos de emissão, em ensaios padronizados e com combustíveis de referência. Os fabricantes de veículos vêm cumprindo as exigências legais, o que resultou na obtenção de redução média de mais de 94% na emissão de poluentes dos veículos leves novos de 2004, em relação ao início do programa. (CETESB, 2005).

Atualmente estão implantados os limites para as próximas fases do PROCONVE. A tabela a seguir mostra os limites passados e os vindouros para os veículos leves:

Tabela 3: Limites do Proconve para veículos leves.

Ano	Gases de escapamento				Evaporativa (3)(4)
	CO	HC	NO _x	Aldeídos (2)	
	g/km	g/km	g/km	g/km	
1988	24	2.1	2.0		6,0
1992	12	1.2	1.4	0.15	6,0
	24**	2.1**	2.0**	0.15	6,0
1997	2.0	0.3	0.6	0.03	6,0
2007	2.0	0.16*	0.25	0.03	2,0
2009	2.0	0.05*	0.12	0.02	2,0

Fonte : CETESB, 2005. Adaptado.

- Notas: (1) Conforme ciclo de condução FTP US-75.
 (2) Aldeídos detectados pelo método DNPH.
 (3) Apenas para veículos gasool 22 (78% gasolina + 22% etanol) ou álcool.
 (4) Expresso como propano quando gasool 22 ou corrigido para etanol quando álcool.
 * (NMHC) hidrocarbonetos não-metano.
 ** Apenas para veículos de carga leves não derivados de automóveis.

O método de ensaio é o prescrito pela ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, através das normas NBR 6601, que prevê o ciclo de condução também utilizado pela legislação dos EUA; o FTP-75 (Federal Test Procedure). Os valores mostrados neste trabalho referem-se a ensaios executados conforme esse ciclo de condução.

5 As Emissões de Gases do Efeito Estufa em Veículos Leves por Tipo de Combustível

5.1 Panorama da utilização de combustíveis em veículos no Brasil

Em 1979, iniciou-se o Programa Nacional do Álcool – PROALCOOL e a partir de então, ocorreram novas e importantes modificações na composição dos combustíveis utilizados pelos veículos automotores. Nesse mesmo ano, foi iniciado o fornecimento da mistura da gasolina com o álcool anidro, com 15% de etanol, chegando-se a 22% nos anos seguintes e, ainda, iniciada a produção de veículos movidos a etanol. A porcentagem de 22% de etanol em volume de gasolina foi adotada pelo CONAMA em 1990, por recomendação do setor energético. Em 1998, elevou-se o teor de álcool etílico anidro na gasolina para 24% em volume. Essa elevação, com relação aos 22% anteriores, não acarreta alterações sensíveis no perfil de emissão dos veículos em circulação, uma vez que os veículos fabricados nestes últimos anos, com tecnologia mais avançada, como injeção eletrônica e sensores de oxigênio, são dotados de sistema de auto compensação da relação ar/combustível para variações dessa ordem de etanol.

Pelo fato de ter adicionado 22% de etanol à gasolina, o Brasil passou a produzir um combustível de elevada qualidade sob o ponto de vista ambiental e nos colocou como pioneiros na utilização em larga escala da

adição de compostos oxigenados à gasolina e do uso de combustíveis renováveis. Além disso, a compatibilidade entre o motor e o combustível é fundamental para o pleno aproveitamento dos benefícios que podem ser obtidos, tanto para a redução das emissões, quanto para a melhoria do desempenho, dirigibilidade, consumo de combustível e manutenção mecânica. Há uma tendência mundial para a adição de compostos oxigenados à gasolina, visando a redução do impacto poluidor. A experiência internacional nesse sentido tem demonstrado a superioridade da utilização de álcoois, notadamente do etanol como no caso brasileiro, em relação aos éteres, sob o ponto de vista ambiental e de saúde pública (CETESB,2005).

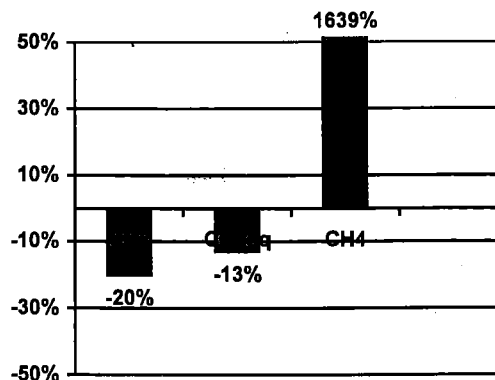
Mais recentemente a indústria automobilística iniciou a produção de veículos bicompostíveis (flexíveis ou "flex"), que são aqueles equipados com motores capazes de utilizar gasolina, álcool anidro ou hidratado ou qualquer mistura desses combustíveis, reconhecendo o combustível e adaptando seu sistema de controle de injeção automaticamente. O usuário do veículo pode optar pelo combustível a utilizar no momento do abastecimento no posto de serviço, levando em conta o preço do combustível e a autonomia proporcionada pelo mesmo. Atualmente a tendência é que esse tipo de veículo esteja rodando quase exclusivamente com álcool etílico hidratado. Ao que tudo indica, dada a grande aceitação desse tipo de veículo pelo mercado consumidor, a indústria deve estar fabricando, num curto espaço de tempo a maioria de seus modelos nesse versão.

Nos últimos anos no Brasil a política energética estimulou o uso de gás natural (GNV) em veículos leves. O suprimento abundante de gás e a vantagem econômica obtida no seu uso fez crescer enormemente a frota de veículos equipados com kits de conversão. Estima-se que haja atualmente cerca de 1 milhão de veículos convertidos em circulação (Dondero, 2004). A conversão de veículos para o uso do GNV por meio de kits de conversão foi regulamentada pela Resolução CONAMA 291/01, de 25/04/02 e pela Instrução Normativa do IBAMA 15/02.

Entretanto, ainda existem no mercado muitos convertedores não homologados, ou mesmo terceiros que efetuam conversões inadequadas com kits homologados. No estudo conduzido após ensaios executados com 21 veículos convertidos (Dondero, 2004), encontrou-se após a conversão, uma redução média de 20% nas emissões de CO₂. No entanto, os veículos apresentaram após a conversão, um aumento de 162% em HC e de 171% em NO_x. Assim, se conversões inadequadas continuarem, pode ser estimulado um cenário de aumento nas concentrações desses poluentes e consequentemente no aumento das concentrações de ozônio, que, como foi dito, além de ser um gás do efeito estufa também tem implicações diretas e imediatas na saúde da população.

No caso das emissões diretas de GEE's pelos veículos convertidos a GNV, considerando os gases CO₂ e CH₄, o substancial aumento nas emissões de metano é compensado pelo decréscimo na emissão de CO₂, resultando, após a conversão numa redução de 13% de CO_{2eq}. (DONDERO, GOLDEMBERG, 2004)

Figura 4: Redução dos GEE's (considerando apenas CO₂ e CH₄) em veículos convertidos a GNV.



Fonte : DONDERO; GOLDEMBERG, 2004.

Não foi considerado o aumento na emissão direta de N₂O pelos veículos convertidos. É de se supor que esse aumento seja significativo já que a emissão de NO_x subiu consideravelmente, e tendo em conta que o GWP para o N₂O é maior do que para o CH₄, esse balanço pode ser recalculado conforme mostraremos a frente.

5.2 A quantificação das emissões de GEE's por veículos leves

Enquanto a medição das emissões de CO₂ por veículos leves está há muito estabelecida e podemos conseguir dados através de praticamente qualquer ensaio efetuado com o objetivo de obter a emissão dos poluentes convencionais controlados pela legislação, o mesmo não ocorre com os dois mais importantes GEE's depois do CO₂: CH₄ e N₂O. As emissões desses gases ainda não estão bem caracterizadas. O CH₄ está apenas começando a ser medido regularmente por conta da necessidade de se reportar, para efeito de homologação de veículos, os hidrocarbonetos não metano (NMHC). Isso implica em medir a emissão de CH₄ que posteriormente é subtraída da emissão dos hidrocarbonetos totais.

Já para o N₂O, não há obrigação legal para sua medição nos gases de escapamento de veículos e há poucos trabalhos orientados para o assunto. De acordo com Lipman, (2002) há evidências de que o N₂O é formado a relativamente baixas temperaturas no catalisador e a altas temperaturas o N₂O é destruído, e na partida a frio a concentração de N₂O no gás de escapamento, depois do catalisador é duas vezes maior do que antes do catalisador, provavelmente pela redução do CO através dos metais catalíticos. Isso pode implicar que catalisadores com um aquecimento rápido, como os eletricamente aquecidos, usados para reduzir emissões de HC à frio, provavelmente também reduzirão o N₂O.

Segundo Lipman (2002), ensaios efetuados com veículos movidos a gasolina com baixa quilometragem, que atendam aos limites "Tier 1" da legislação americana, equipados com catalisadores de 3 vias revelaram uma emissão média de cerca de 50mg/mi (31 mg/km) de N₂O. Supondo que a emissão de NO_x desses veículos fosse a

metade do limite (0,4g/mi ou 0,25 g/km), podemos extrapolar uma razão N_2O/NO_x de: $0,031/0,125 = 0,25$.

Ainda segundo Lipman (2002), em ensaios com veículos a gasolina e metanol também equipados com catalisadores de 3 vias, obteve-se uma razão N_2O/NO_x entre 0,25 e 0,21.

Behrentz (2003), encontrou em 37 veículos ensaiados e cuja análise foi realizada através de espectroscopia de FTIR (Fourier Transform InfraRed), um valor médio de emissão de 36 ± 7 mg/mi (22 ± 4 mg/km) e uma forte correlação entre as emissões de NO_x e N_2O , com uma razão $N_2O/NO_x = 0,095$.

O trabalho da Orbital Engine Company (2004) analisando as emissões de veículos movidos a gasolina contendo ethanol, adota para efeito de estimar as emissões de N_2O , a razão $N_2O/NO_x = 0,20$.

Muito embora seja esperada uma correlação entre esses gases, as evidências ainda não definitivas e outros estudos precisam ser realizados, incluindo variações do tipo de controle de emissão, motorização, envelhecimento do catalisador, etc. Neste trabalho os valores apresentados de N_2O não foram medidos mas estimados para efeito de cálculo, através da razão N_2O/NO_x igual a 0,15, muito embora saibamos que isso possa não refletir a realidade.

Em 30 ensaios realizados no Laboratório de Veículos da Cetesb, encontrou-se um valor médio da relação CH_4/HC de 0,249 para veículos movidos a gasool 22, 0,266 para veículos movidos a AEHC e 0,895 para veículos movidos a GNV.

Do Relatório da Qualidade do Ar no Estado de São Paulo, (CETESB, 2005) obtemos os valores dos fatores médios de emissão de veículos leves novos, no ano de 2004, médias ponderadas de cada ano/modelo pelo seu volume de produção, valores em g/km:

Tabela 5: Fatores médios de emissão de veículos leves novos para 2004.

Combustível	CO ₂	HC	NO _x
Gasool 22	190	0,11	0,09
Álcool	160	0,17	0,08
Flex-Gasool 22	201	0,08	0,05
Flex-Álcool	190	0,14	0,14

Notas: Para os modelos a gasolina há motores entre 1,0L e 2,0L; para os a álcool, de 1,0L. Nos veículos tipo flex fuel, predominam motores de 1,6 e 1,8L. Parte da produção desses veículos foi ensaiada com gasool 22 e parte com álcool. As maiores diferenças devido às cilindradas dos motores são sentidas no CO₂.

Fonte: CETESB, 2005. Adaptado

Para os veículos a GNV utilizamos os valores também encontrados em CETESB (2005) nos valores típicos de emissão de veículos em uso da fase III do PROCONVE convertidos para o uso de GNV, para o ano de 2004; veículos que utilizam como combustível original a gasolina, em g/km:

Combustível	CO ₂	HC	NO _x
GNV	172	0,24	0,18

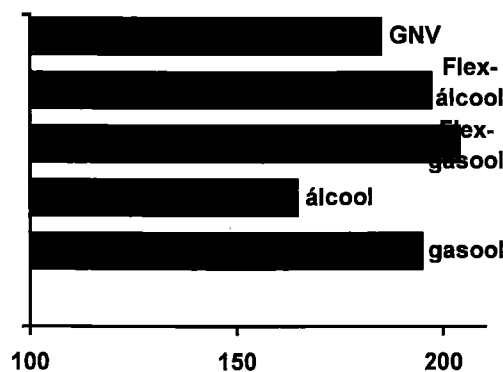
Utilizando, para estimar as emissões de N_2O e CH_4 os fatores descritos anteriormente, temos, em g/km:

Combustível	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Gasool 22	190,0	0,027	0,014
Álcool	160,0	0,045	0,012
Flex-Gasool 22	201,0	0,020	0,008
Flex-Álcool	190,0	0,037	0,021
GNV	172,0	0,215	0,027

Multiplicando os valores de cada um dos gases pelo GWP correspondente temos a emissão por cada tipo de combustível em CO₂ equivalente, em g/km:

Combustível	CO _{2eq}
Gasool 22	194,77
Álcool	164,59
Flex-Gasool 22	203,83
Flex-Álcool	197,07
GNV	184,94

Figura 5: Emissão de GEE's em CO₂ equivalente por tipo de combustível, em g/km.



Notamos que, segundo o método de cálculo utilizado, considerando a emissão direta de GEE's pelos veículos, os veículos movidos exclusivamente à álcool, apresentam a menor emissão, com uma redução de cerca de 15% em relação aos veículos movidos a gasool 22.

5.2.1 Veículos convertidos para GNV

Para o caso dos veículos convertidos para o uso de GNV, forma utilizados valores médios obtidos de ensaios realizados para homologação dos kits de conversão. Em Dondero (2004), encontramos, na pesquisa feita numa

amostra de 21 veículos ensaiados com o combustível original (gasolina) e com GNV, após a instalação de kits homologados, os seguintes valores em g/km:

Combustível	CO ₂	HC	NOx
Gasool 22	222,55	0,21	0,14
GNV	170,65	0,81	1,27

Utilizando os mesmos fatores para estimar a emissão de CH₄ e N₂O, temos em g/km:

Combustível	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Gasool 22	222,55	0,052	0,021
GNV	170,65	0,725	0,191

Calculando a emissão em CO₂ equivalente utilizando o valor correspondente de GWP, temos em g/km:

Combustível	CO _{2eq}
Gasool 22	229,96
GNV	243,86

Ou seja: houve um aumento de cerca de 6% na emissão de GEE's pelo veículo após sua conversão para utilização de GNV em relação ao mesmo veículo funcionando com seu combustível original. Assim vemos que uma conversão inadequada de um veículo para utilização de GNV como combustível, pode anular o potencial de ganho ambiental que esse combustível tem, no que diz respeito à emissão de GEE's.

5.2.2 Considerações

Quando falamos de gases do efeito estufa precisamos pensar além do veículo. É preciso considerar a energia usada e as emissões de GEE's oriundas da produção dos combustíveis utilizados e do processo de distribuição desses combustíveis até chegarem ao tanque dos veículos, bem como a emissão devida a fabricação do veículo e a seu ciclo de vida. Essas emissões não foram consideradas neste trabalho.

6 A Legislação da Califórnia – EUA

O estado da Califórnia, EUA, tem sido tradicionalmente pioneiro nos esforços visando a redução da poluição do ar. Em setembro de 2004 o órgão governamental do estado da Califórnia, California Air Resources Board (CARB), aprovou a legislação para redução das emissões de gases do efeito estufa por veículos automotores. A legislação que entra em vigor em 2006, com a oportunidade para revisão, aplica-se a veículos leves de passageiros e veículos comerciais leves e caminhões, a partir dos ano/modelo 2009.

Os limites adotados são divididos em duas fases. A fase 1 vai de 2009 a 2012, com reduções a cada ano de

forma que ao final da fase a redução represente 22% se comparada com a frota de 2002. A fase 2 vai de 2013 a 2016, resultando numa redução de 30%. Os limites são, em g/km de CO₂-equivalente:

Tabela 6: Limites de emissão de GEE's na Califórnia-EUA.

Fase	Ano	PC/LDT1	LDT2
Near-term	2009	201	273
	2010	187	261
	2011	166	242
	2012	145	224
Mid-term	2013	141	221
	2014	138	218
	2015	132	212
	2016	127	206

Notas: PC/LDT1: Veículos de passageiros, veículos comerciais leves, camionetas ; LDT2: Caminhões.

Fonte: CARB, 2004. Adaptado.

Foi estimado que essa legislação irá resultar numa redução da emissão de GEE's por veículos de passageiros, da ordem de 87.700 toneladas de CO_{2eq} por dia em 2020 e, de 155.200 toneladas de CO_{2eq} por dia em 2030. Isso irá significar uma redução de 18% na emissão de GEE's pela frota da Califórnia em 2020 e de 27% em 2030.

Os limites referem-se a emissão total, direta e indireta, de GEE's pelo veículo. Para veículos que usem combustíveis convencionais - gasolina ou diesel - os fabricantes irão reportar somente a emissão direta, ou do veículo. Para veículos que usem combustíveis alternativos, as emissões podem ser ajustadas para compensar as emissões relativas à produção e transporte dos combustíveis utilizados.

7 Tecnologias para o controle na emissão de GEE's

Os fatores que afetam a emissão do principal GEE, o CO₂, incluem o atrito de componentes internos dos motores e a presença de dispositivos de admissão que restringem a vazão de ar para o motor, resultando em perdas de carga. Emissões de CO₂ também são aumentadas devido ao trabalho feito pelo motor para acionar acessórios necessários para manter o sistema elétrico, operar a direção hidráulica e o compressor do ar condicionado e outros dispositivos; e também quando o motor tem uma solicitação adicional para vencer forças inerciais devido ao peso do veículo, em acelerações ou rampas, para vencer a resistência aerodinâmica e a resistência devido ao rolamento. Estratégias como o desligamento do motor sempre que possível durante períodos de marcha lenta, o uso de sistema de frenagem regenerativa para captura da energia que de outra forma seria perdida, na movimentação do veículo depois de uma parada, podem ser utilizadas na redução da emissão de CO₂.

As principais tecnologias para esse controle são:

- Modificação no comando de válvulas
- Modificação no sistema de alimentação de combustível
- Utilização de taxa de compressão variável
- Injeção direta de combustível
- Eletrificação de sistemas acessórios do motor
- Melhoria no sistema de transmissão (maior número de velocidades)
- Redução de atrito do motor
- Redução no arraste aerodinâmico e na resistência ao rolamento
- Redução do peso do veículo

8 Conclusões

O método adotado para estimar as emissões de gases do efeito estufa por veículos automotores leves mostrou que, embora o principal gás do efeito estufa emitido diretamente por automóveis seja sem dúvida o CO₂, os gases CH₄ e N₂O podem contribuir de maneira significativa para a emissão total de GEE's e por isso não podem ser desprezados. Há, no entanto, uma série de incertezas associadas às medições desses gases e uma escassez de estudos desenvolvidos nesse campo, tornando necessária a ampliação de pesquisas na área. Muito embora a emissão de GEE's seja apenas uma fração do total de emissão global, sabemos que o aumento da frota mundial de veículos pode tornar essa fonte de emissão cada vez mais significativa. Várias nações tem empregado esforços na redução de GEE's de uma variedade de setores e fontes. A utilização de tecnologias para controle dessas emissões, bem como o uso de combustíveis alternativos e não fósseis, independente da existência de legislação para tal, pode representar uma grande vantagem competitiva tanto para empresas isoladamente quanto para as nações.

REFERÊNCIAS:

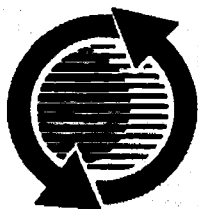
- ÁLVARES JR., Olímpio de Melo; LINKE, Renato Ricardo Antonio. **Metodologia simplificada de cálculo das emissões de gases do efeito estufa de frotas de veículos no Brasil**. São Paulo : CETESB, 2004.
- BEHRENTZ, Eduard. **Measurements of nitrous oxide emissions from light-duty motor vehicles: analysis of important variables and implications for California's Greenhouse Gas Emission Inventory**. California : University of California, USA, 2003.
- BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. **Primeiro inventário brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa**. Brasília, DF, 2002.
- BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. **Primeiro inventário brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa, emissões de gases de efeito estufa por fontes móveis, no setor energético**. Brasília, DF, 2002a.
- CARB. **Staff proposal regarding the maximum feasible and cost-effective reduction of Greenhouse gas emissions from motor vehicles**. California, 2004.
- CETESB (São Paulo). **Relatório de qualidade do ar no estado de São Paulo 2004**. São Paulo : CETESB/SMA, 2005.
- CORSINI, Romeu. **A equação verde**. São Paulo : USP; São Carlos : Centro de Pesquisas de São Carlos/Fundação Theodoreto Souto, 2000?
- DONDERO, Luz ; GOLDEMBERG, José. **Environmental implications of converting light gas vehicles: the Brazilian experience**. *Energy Policy*, Elsevier Ltda, 2004.
- IPCC. Working Group I. **Technical summary**, 2004.
- LIPMAN, Timothy E. ; DELUCCHI, Mark A. **Emissions of nitrous oxide and methane from conventional and alternative fuel motor vehicles**. *Climate Change*, Netherlands, n° 53, p. 477-516, 2002.
- LOUIS, J.J.J. **Well-to-wheel energy use and Greenhouse gas emissions for various vehicle technologies**. Detroit, USA : SAE, 2001. (SAE Technical Papers Series, 2001-01-1343).
- MACEDO, Isaias de Carvalho; LEAL, Manoel R. L. Verde; SILVA, João Eduardo A. Ramos da. **Balanco da emissões de gases do efeito estufa na produção e no uso do etanol no Brasil**. São Paulo : SMA, 2004.
- MACLEAN, Heather L. et al. **A life-cycle comparison of alternative automobile fuels**. *Journal of the air and Waste Management Association*, v. 50, p. 1769-1779, oct. 2000.
- MATTOS, Laura Bedeschi Rego de. **A importância do setor de transportes na emissão de gases do efeito estufa : o caso do município do Rio de Janeiro**. 2001. Tese (Mestrado em Engenharia) - UFRJ, Rio de Janeiro, 2001.
- ORBITAL ENGINE COMPANY. **Testing gasoline containing 20% of ethanol**. Australia, 2004.

The appearance of the ISSN code at the bottom of this page indicates SAE's consent that copies of the paper may be made for personal or internal use of specific clients. This consent is given on the condition however, that the copier pay a \$ 7.00 per article copy fee through the Copyright Clearance Center, Inc. Operations Center, 222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923 for copying beyond that permitted by Sections 107 or 108 of U.S. Copyright Law. This consent does not extend to other kinds of copying such as copying for general distribution, for advertising or promotional purposes, for creating new collective works, or for resale.

SAE routinely stocks printed papers for a period of three years following date of publication. Direct your orders to SAE Customer Sales and Satisfaction Department.

Quantity reprint rates can be obtained from the Customer Sales and Satisfaction Department.

To request permission to reprint a technical paper or permission to use copyrighted SAE publications in other works, contact the SAE Publications Group.



GLOBAL MOBILITY DATABASE

All SAE papers, standards, and selected books are abstracted and indexed in the Global Mobility Database.

No part of this publication may be reproduced in any form, in an electronic retrieval system or otherwise, without the prior written permission of the publisher.

ISSN 0148-7191

© Copyright 2005 Society of Automotive Engineers, Inc.

Positions and opinions advanced in this paper are those of the author(s) and not necessarily those of SAE. The author is solely responsible for the content of the paper. A process is available by which discussions will be printed with the paper if it is published in SAE Transactions. For permission to publish this paper in full or in part, contact the SAE Publications Group.

Persons wishing to submit papers to be considered for presentation or publication through SAE should send the manuscript or a 300 word abstract of a proposed manuscript to: Secretary, Engineering Meetings Board, SAE.

