

**CETESB**

**COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL**

DIRETORIA DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA DE EMISSÕES DE VEÍCULOS  
DIVISÃO DE PROGRAMAS DE REDUÇÃO DE POLUIÇÃO VEICULAR

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL  
BIBLIOTECA - Prof. Dr. Lucas Nogueira Galvão  
Av. Prof. Frederico Hermann Junior, 345 - Pinheiros  
05489-900 - SÃO PAULO - BRASIL

**OS VEÍCULOS AUTOMOTORES  
E O EFEITO ESTUFA**

CL  
A  
TC

270072

**GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO**

Luiz Antonio Fleury Filho

*Governador*

**SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE**

Édis Milaré

*Secretário*

**CETESB**

**Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental**

Nelson Vieira de Vasconcelos

*Diretor-Presidente*

Antonio Martins de Albuquerque

*Diretor de Normas e Padrões Ambientais*

Carlos Pedro Jens

*Diretor de Pesquisa e Desenvolvimento de Tecnologia*

José Maria Lopes

*Diretor de Treinamento e Transferência de Tecnologia*

Lineu Rodrigues Alonso

*Diretor de Controle da Poluição de Regiões Metropolitanas*

Ricardo Augusto Grecco Teixeira

*Diretor Administrativo e Financeiro*

Walter Godoy dos Santos

*Diretor de Controle da Poluição do Interior*

## OS VEÍCULOS AUTOMOTORES E O EFEITO ESTUFA

Alfred Szwarc e Gabriel Murgel Branco  
CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

### I - CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

O dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) é um componente natural da atmosfera, que atualmente apresenta concentração aproximada de 350 ppm. Embora em baixa concentração, juntamente com outros gases que também se apresentam em pequenas quantidades, como o metano ( $\text{CH}_4$ ), o ozônio ( $\text{O}_3$ ), o óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) e os clorofluorcarbonos (CFC), desempenha um papel fundamental sobre o clima, devido ao seu expressivo efeito sobre a temperatura no planeta.

Este efeito é caracterizado pela "transparência" inicial desses gases à passagem da radiação solar incidente sobre a Terra (exceto aquela refletida pelas nuvens e partículas) e, pelo posterior bloqueio e absorção de grande parte da energia que é refletida pela atmosfera e pela superfície terrestre sob a forma de radiação infravermelha. Este fenômeno, também conhecido por "efeito estufa", é considerado uma pré-condição para a existência do homem e a maioria dos seres vivos. Caso não houvesse substâncias como o  $\text{CO}_2$  na atmosfera, para absorver a radiação infravermelha, a temperatura média ao nível do solo atingiria  $18^\circ\text{C}$  negativos.

Ao longo dos últimos 160.000 anos, até a Revolução Industrial, o  $\text{CO}_2$  na atmosfera manteve-se abaixo de 280 ppm. Pesquisas científicas têm comprovado que a concentração de  $\text{CO}_2$  do período "pré industrial" se situava em  $275 \pm 10$  ppm. Entretanto, a partir desta época tem sido observado um aumento contínuo da concentração de  $\text{CO}_2$  na atmosfera, representando cerca de 30% em 1990, quando se registrou uma concentração de 353 ppm. Vale notar que o  $\text{CO}_2$  responde atualmente por 55% da contribuição para o efeito estufa.

Este aumento da concentração de  $\text{CO}_2$  é atribuído, principalmente, ao considerável incremento na utilização de combustíveis fósseis, verificado a partir de meados do século XIX. Admite-se que as concentrações de  $\text{CO}_2$  estão atualmente crescendo a uma taxa de 0,5% ao ano (1,8 ppm/ano), fato que tem sido observado com grande preocupação pela comunidade científica, devido a sua influência sobre o aumento da temperatura na superfície do planeta e os efeitos que poderão ocorrer.

De acordo com o atual estágio de conhecimento, admite-se que o aumento da concentração dos gases responsáveis pelo efeito estufa, desde 1850, já causou uma elevação média de 0,3 a  $0,7^\circ\text{C}$  na temperatura.

Diversos modelos atmosféricos prevêem um aumento médio na temperatura de 1,5 a 5,8°C em meados do século XXI, antecipando alterações substanciais no clima, o que produziria efeitos devastadores sobre a agricultura, elevação do nível dos oceanos, inundações, comprometimento da potabilidade das águas, obsolescência das usinas hidrelétricas, extinção de espécies, migrações em massa etc.

Estima-se que a emissão anual de carbono no planeta, devido a queima de combustíveis fósseis e desflorestamento, é atualmente da ordem de sete bilhões de toneladas, distribuídas na forma de CO<sub>2</sub>, monóxido de carbono (CO) e partículas carbonáceas. Desse total, 42% são originadas nos países em desenvolvimento, inclusive o Brasil, sendo que 19% é atribuído ao uso de combustíveis fósseis e 23% às queimadas.

No que tange aos combustíveis fósseis, admite-se que cerca de 50% do consumo mundial de petróleo (19% do consumo global de energia) é atualmente direcionado para o abastecimento da frota circulante de veículos, que hoje se encontra na casa dos 550 milhões. Essa frota aumentou aproximadamente doze vezes desde 1945, estando hoje concentrada principalmente nos países industrializados, devendo, entretanto, apresentar futuramente um expressivo aumento nos países do leste europeu e nos países em desenvolvimento.

Considerando-se as atuais tendências de crescimento da frota mundial de veículos, estima-se que em 2010 haverá cerca de 1,1 bilhão de veículos em circulação. Admite-se que o consequente aumento na demanda de combustíveis derivados de petróleo acarretará um acréscimo de 65% na emissão de CO<sub>2</sub>, em relação à frota de 1990.

É fato reconhecido que os veículos são uma fonte considerável dos gases causadores do efeito estufa. O CO<sub>2</sub>, o CH<sub>4</sub>, e o N<sub>2</sub>O estão normalmente presentes nos gases de escapamento; os CFC são utilizados nos sistemas de ar condicionado e emitidos para a atmosfera por vazamentos e durante as operações de manutenção desses sistemas e o O<sub>3</sub> (presente na troposfera) resulta de reações fotoquímicas entre diversos poluentes emitidos pelos veículos, caracterizando uma forma bastante séria de poluição atmosférica.

Estima-se que a contribuição dos veículos para a emissão global de CO<sub>2</sub> seja da ordem de 900 milhões de toneladas, o que representa 15% da emissão global. Nos EUA, que apresenta o maior número de veículos per capita do mundo, bem como a maior frota, essa contribuição é da ordem de 25%.

Dentre as substâncias resultantes do processo de combustão que são emitidas pelos veículos automotores, o CO<sub>2</sub>, sem dúvida, se destaca pela quantidade emitida. A magnitude da emissão de CO<sub>2</sub> se deve às características da queima dos combustíveis, bem como às condições de operação do motor em função de diversos parâmetros, especialmente os que exercem influência sobre o rendimento e, portanto, sobre o consumo de combustível, que é proporcional à

massa de CO<sub>2</sub> emitida Tomando-se por base os veículos nacionais ano-modelo 1990/1991, pode-se dizer que os veículos a gasolina (78% gasolina e 22% álcool anidro) emitem, em média, 190 g/km de CO<sub>2</sub>, enquanto que os veículos a álcool emitem 170 g/km.

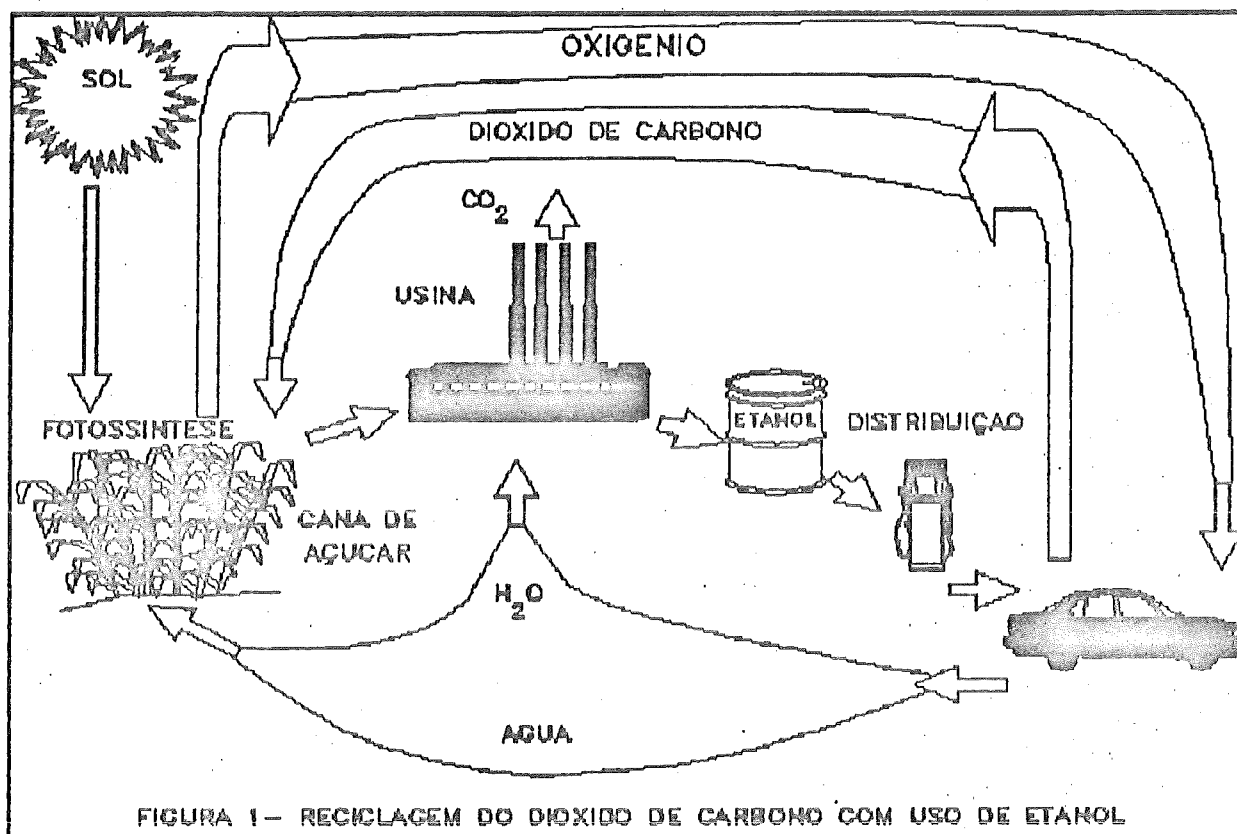
É oportuno ressaltar que a emissão de CO<sub>2</sub> não tem sido objeto de controle, por apresentar baixa toxicidade e por não ser considerado um poluente atmosférico. A sua redução pelos meios tecnológicos atualmente conhecidos é extremamente complexa, sendo considerado que o uso racional de energia, o reflorestamento em larga escala e a utilização de combustíveis originados de biomassa são as medidas mais eficazes para o seu controle.

De um modo geral, pode-se dizer que os veículos a diesel apresentam uma emissão de CO<sub>2</sub> menor que a dos motores a álcool e que ambos os tipos de motores apresentam uma emissão inferior que a dos motores a gasolina. Esta constatação é de particular interesse, visto a necessidade atual de se dispor de fontes de energia alternativa que resultem em emissão de CO<sub>2</sub> reduzida.

Dentro desse contexto, vale ressaltar que a mistura MEG (33% metanol/ 60% etanol/7% gasolina), que vem sendo utilizada em diversas regiões do Estado de São Paulo e no sul de Minas Gerais, desde março de 1990, apresenta características de emissão de CO<sub>2</sub> similares as observadas com o etanol hidratado, que abastece os veículos a álcool.

Dos combustíveis fósseis, aquele que resulta em menor emissão de CO<sub>2</sub> é o gás natural. Por outro lado, temos que a emissão de hidrocarbonetos (HC) pelo escapamento dos motores a gás natural, bem como os de outros combustíveis fósseis, ocorre primordialmente na forma de CH<sub>4</sub>, que é um gás ainda mais ativo que o CO<sub>2</sub> em termos de efeito estufa, embora a sua contribuição global, de aproximadamente 15%, seja menor que a do CO<sub>2</sub>. Deve-se observar que o uso do gás natural como combustível automotivo tem a vantagem de evitar que este gás seja desperdiçado em flares ou vents, o que além de representar um desperdício energético, representa uma maior contribuição para o efeito estufa. É oportuno registrar a concentração de CH<sub>4</sub> praticamente dobrou nos últimos cem anos, correspondendo a 1,72 ppm em 1990.

Ainda, no que se refere à questão do CO<sub>2</sub>, o etanol apresenta uma interessante vantagem em relação à gasolina, óleo diesel e gás natural. Pelo fato de ser obtido a partir de biomassa, que durante o ciclo de crescimento fixa o carbono existente no CO<sub>2</sub> da atmosfera, através do processo de fotossíntese, temos que a produção da matéria prima para a produção do etanol (cana de açúcar, milho etc.) contrabalança a emissão resultante do uso do etanol como combustível, conforme pode ser visto na figura 1.



Desta forma, pode-se admitir que a contribuição dos veículos a etanol, para o aumento da carga atmosférica de CO<sub>2</sub>, é praticamente nula. Por outro lado, no caso de uso de combustíveis de origem fóssil, o carbono retirado do subsolo é emitido para a atmosfera como CO<sub>2</sub> e, não tendo a oportunidade de ser reciclado, contribui para o aumento da sua concentração.

Com base neste raciocínio, verifica-se que cada veículo a etanol em circulação, que substitui um veículo movido por combustível fóssil, "economiza" a emissão de CO<sub>2</sub> correspondente ao veículo substituído.

Admitindo-se que 200 g/km de CO<sub>2</sub> represente a emissão média para veículos movidos exclusivamente a gasolina e, considerando-se uma distância média percorrida de 15.000 km/ano, verifica-se que cada milhão de veículos a etanol em circulação representa uma "economia" de 3 milhões de toneladas/ano de CO<sub>2</sub>. Considerando que a frota brasileira de veículos a álcool é de 4,2 milhões, verifica-se que o Brasil já reduziu cerca de 20% do seu potencial de emissão de CO<sub>2</sub>, antecipando-se aos acordos internacionais.

No caso de misturas de hidrocarbonetos e etanol, pode-se admitir que a "economia" de CO<sub>2</sub> é da mesma ordem de grandeza do conteúdo do etanol no combustível.

Um efeito semelhante poderia ser obtido para os combustíveis fósseis, caso a indústria do petróleo investisse maciçamente em projetos de reflorestamento ou em agricultura.

No que se refere aos CFC, estes gases são considerados os mais ativos em termos de absorção de radiação, contribuindo atualmente com 15 a 20% para o efeito estufa.

Nos EUA, cerca de 30% dos CFC utilizados para refrigeração (56.500 t/ano) são usados nos sistemas de ar condicionado dos veículos e posteriormente emitidos para a atmosfera.

A concentração de CFC-11 e CFC-12 na atmosfera é atualmente de 280 e 484 ppt, respectivamente. Embora esta concentração seja baixa, deve-se lembrar que a concentração destes gases no período pré-industrial era zero e que os seus efeitos sobre a atmosfera também se estendem à destruição da camada de  $O_3$  estratosférico.

Com relação ao  $O_3$  existente na troposfera e que tem aumentado a uma taxa de 1 a 3% ao ano, pode-se afirmar que a sua presença está intimamente relacionada com a emissão de compostos orgânicos voláteis, óxidos de nitrogênio e outros poluentes emitidos pelos veículos automotores, fato que leva o controle de emissão destes poluentes a assumir uma nova dimensão, de maior importância. Acredita-se que a contribuição atual do  $O_3$  troposférico para o efeito estufa seja de aproximadamente 8%.

Embora não haja informações seguras sobre a contribuição dos veículos automotores para o aumento da concentração de  $N_2O$ , a uma taxa de 0,25% ao ano, considera-se que a contribuição deste gás para o efeito estufa seja de cerca de 6%.

Um outro fato que tem merecido atenção recente dos cientistas é a participação do CO para o aumento das concentrações de  $CH_4$  e  $O_3$ , contribuindo assim, de modo indireto, para o aumento do efeito estufa.

Acredita-se que a participação do CO neste processo ocorre através de sua reação com o radical hidroxila (OH), reduzindo a disponibilidade deste radical para reações concorrentes com o  $CH_4$  e  $O_3$ , que resultam na diminuição da concentração destes poluentes na atmosfera. Haveria ainda a ativa participação do CO nas etapas intermediárias de formação do  $O_3$ . Tal constatação é preocupante, especialmente porque as concentrações globais de CO vêm apresentando um crescimento de 0,8 a 1,4% ao ano.

## II - A NECESSIDADE DE SOLUÇÕES

Embora a discussão sobre as possíveis alterações climáticas devido ao efeito estufa gerem grande polêmica, as propriedades de retenção de calor dos gases responsáveis por este efeito são sobejamente conhecidas e o seu acúmulo na atmosfera está documentado.

Em sua recente avaliação, o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 1990) calcula que uma redução de mais de 60% nas emissões de CO<sub>2</sub> seria necessária para estabilizar as concentrações atmosféricas aos níveis de 1990. Reduções de 70 a 85% para CFC, de 70 a 80% para o N<sub>2</sub>O e de 15 a 20% para CH<sub>4</sub> também seriam necessárias.

No que se refere aos veículos automotores, existem medidas que podem resultar nessa redução. O uso de fontes de energia alternativa como o etanol e o metanol (obtidos a partir de biomassa), a eletricidade (a partir de usinas hidrelétricas, geotérmicas, nucleares ou de células fotovoltaicas) e o biogás, podem trazer benefícios reais. O aumento do controle das emissões de CO e dos poluentes responsáveis pelo O<sub>3</sub> também deve ser encarado com seriedade e orientado para o menor nível de emissão possível.

Uma outra medida positiva seria o incremento no uso de gás natural, em substituição aos demais combustíveis fósseis, especialmente em frotas cativas, como ônibus urbanos, serviços de transporte de carga regionais e táxis. Além disso, a produção de veículos cada vez mais eficientes em termos de uso energético e a aceleração das pesquisas para o uso do hidrogênio como combustível são objetivos a serem perseguidos.

Alguns projetos envolvendo um uso mais racional de energia e de proteção do meio ambiente, vem sendo desenvolvidos pela indústria automobilística. Um dos mais interessantes conceitos envolve a utilização de uma motorização híbrida, composta por um motor elétrico, para uso predominantemente urbano e, por um motor de combustão interna, com controle de emissão de poluentes, para maior uso em rodovias. Um protótipo com essa motorização chega a emitir 60% menos CO<sub>2</sub> que um modelo convencional equivalente, apresentando um consumo cidade/estrada de aproximadamente 27 km/l de óleo diesel.

O uso de materiais mais leves, a diminuição das perdas de energia devido à resistência inercial ao deslocamento, à resistência ao rolamento e à resistência aerodinâmica contribuem para tornar o veículo mais econômico em termos de consumo de combustível e, portanto, reduzir a sua emissão de CO<sub>2</sub>.

Complementarmente, ações governamentais que priorizem a ampliação e melhoria do transporte público, incentivem a carona programada, viabilizem o transporte sobre duas rodas e estabeleçam, de fato, medidas de engenharia de tráfego, horários programados para comércio e indústria e, de planejamento do uso do solo, podem resultar em substancial redução de consumo de energia pelos veículos e, conseqüentemente, na diminuição da emissão de gases e partículas para a atmosfera. A título de exemplo, podemos citar resultados obtidos pela CETESB que indicam que num percurso tipicamente urbano, quando a velocidade média é aumentada de 19 km/h para 31,5 km/h, caracterizando um tráfego de melhor fluidez, ocorre uma economia no consumo de combustível de aproximadamente 25%. Complementarmente, ocorre uma redução de cerca de 20% na emissão de CO e 15% na de CNQ. Outras medidas relacionadas com os

processo de produção e a reciclagem de materiais utilizados nos veículos, além da utilização seletiva do transporte individual, também podem contribuir para a redução da emissão para a atmosfera de substâncias que contribuem para a intensificação do efeito estufa.

No que se refere ao uso de CFC, a comunidade internacional já reconheceu os riscos da continuação de seu uso (tanto em termos de destruição da camada de ozônio na estratosfera, quanto em termos de efeito estufa) e, conseqüentemente, medidas efetivas para a sua substituição por outros produtos já estão sendo tomadas.

Como foi observado, existem alternativas para minimizar o problema que se apresenta. Portanto, cabe à sociedade assumir mais esta responsabilidade com as gerações futuras e criar as condições para a reversão do processo. A outra alternativa é de se colocar na posição de avestruz e torcer para que os resultados do efeito estufa não sejam devastadores.

#### LITERATURA CONSULTADA

- 1) THE CLEAN FUELS REPORT - J.E. Sinor Consultants Inc., Vol. 4, nº 1, Colorado, USA, February 1992.
- 2) MAC NEILL, J. et alii - Beyond interdependence - The Meshing of the World's Economy and the Earth's Ecology, Oxford University Press, 1991.
- 3) MAC KENZIE, J.J. e WALSH, M.P. - Driving Forces: Motor Vehicle Trends and their Implications for Global Warming, Energy Strategies and Transportation Planning, World Resources Institute, December 1990.
- 4) BLEVISS, D.L. e WALZER, P. - Energy for motor vehicles, Scientific American, September 1990, vol. 263, Nº 3, pag. 102-109.
- 5) REDDY, A.K.N. e GOLDENBERG, J. - Energy for the developing world, Scientific American, September 1990, vol. 263, Nº 3, pag. 110-118.
- 6) SCHNEIDER, S.H. - The changing climate, Scientific American, September 1989, vol. 261, Nº 3, pag. 38-47.
- 7) REVKIN, A.C. - Living with the greenhouse effect, Dialogue nº 85, USA, March 1989.
- 8) GRAEDEL, T.E. e CRUTZEN, P.J. - The changing atmosphere, Scientific American, September 1989, vol. 261, Nº 3, pag. 28-36.
- 9) MURGEL, E.M. e SZWARC, A. - Condições de tráfego e a emissão de poluentes, Revista Ambiente, 1989, vol. 3, Nº 1, pag. 59-64.

Data lahir	7/5/93
Tempat lahir	Memo 14/93 DER
Ulangan	26/4/93
Presep	
Data lomba	7/5/93