

MODELAGEM DE EMISSÃO DE POLUENTES EM MOTORES DO CICLO DIESEL

Vivianne Hermógenes Pereira

Eiji Kawamoto

Escola de Engenharia de São Carlos
Universidade de São Paulo

RESUMO

O setor de transportes é um dos responsáveis pela baixa qualidade do ar em regiões metropolitanas. Os modelos de emissão de poluentes são ferramentas essenciais na adequação deste setor às novas legislações ambientais. O objetivo desta pesquisa é desenvolver um modelo de emissão de poluentes em motores Diesel que represente satisfatoriamente o nível de emissão atual e seja adaptável às alterações tecnológicas de motores e combustíveis. O modelo será baseado na equação química de combustão do óleo diesel e características mecânicas do funcionamento de motores Diesel, tais como relação ar/combustível, temperatura, capacidade e número de cilindros e número de rotações por minuto. Serão modeladas as emissões dos compostos: dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrogênio (NO_2), dióxido de enxofre (SO_2) e hidrocarbonetos não queimados (HC), visto que eles causam danos ao meio ambiente. Pretende-se apresentar uma metodologia de previsão de emissões que possa, futuramente, ser adaptada a outros combustíveis e motores.

ABSTRACT

The transportation sector is one of the responsible for the of low air quality in metropolitan regions. The pollutant emission models are essential tools in the adequacy of this sector to the new environmental legislations. The objective of this research is to develop a pollutant emission model in Diesel engine that represents the level of current emission in a satisfactory way and is adaptable to the changes in the engine and fuel technologies. The model will be based on the chemical combustion equation of diesel oil and mechanical characteristics of the Diesel engine performance, such as air/fuel relation, temperature, capacity and number of cylinders and number of rotations per minute. The emissions of the composites will be modeled: carbon dioxide (CO_2), carbon monoxide (CO), nitrogen dioxide (NO_2), sulphur dioxide (SO_2) and hydro-carbons not burnt (HC), since they cause damages to the environment. The aim of this research is to show a new methodology of emission forecast that can be adapted to other type of fuels and engines in the future.

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos houve um crescimento da conscientização de que algumas atividades humanas deterioram os recursos naturais e que, no futuro, estes danos serão irreversíveis. Nos grandes centros urbanos, devido ao crescimento acelerado das taxas de motorização e as consequentes emissões veiculares, o setor de transportes é um dos grandes responsáveis pela baixa qualidade do ar. Essas emissões são compostas por substâncias nocivas aos seres vivos e por gases que contribuem para o efeito estufa. De acordo com dados da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB, 2005), as emissões do tubo do escapamento de veículos automotores foram responsáveis por mais da metade dos principais poluentes lançados na atmosfera na Região Metropolitana São Paulo (RMSP) em 2004.

Com o surgimento de novas legislações que regulamentam essas emissões, como o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE) criado em 1986 no Brasil, tornou-se necessário que planejadores de transporte disponham de modelos de emissão de poluentes que sejam capazes de representar satisfatoriamente o nível de emissão atual, bem como se adaptar às alterações das tecnologias de motores e combustíveis. No Brasil, os limites de emissão impostos pelas legislações foram alcançados rapidamente, porém este fato causou a obsolescência dos modelos de emissão obtidos a alguns anos, pois eram baseados em dados da frota antiga.

Os níveis de emissão de poluentes de veículos automotores em uso variam dependendo das características do veículo, das condições de operação, do nível de manutenção, das

características do combustível e das condições ambientais, tais como temperatura, umidade e altitude (Faiz *et al*, 1996). Os principais modelos de emissão utilizados atualmente são baseados nas condições de operação ou na velocidade média do veículo, não levando em consideração o tipo de combustível utilizado, ou mesmo às características do motor (Jacondino e Cybis, 2002). Os modelos já desenvolvidos que representam fenômenos físicos e químicos que geram emissões requerem um grande esforço computacional para ajustá-los a novos dados (Cappiello, 2002). Além disso, esses modelos são desenvolvidos em outros países, o que dificulta a sua adaptação às características da frota brasileira, justificando a necessidade do desenvolvimento de modelos baseados em dados dos motores e dos combustíveis utilizados no Brasil.

Veículos com motores do ciclo Diesel, tais como ônibus e caminhões, são muito utilizados nas regiões metropolitanas das cidades brasileiras. No Brasil, o consumo percentual de óleo diesel em relação ao total de derivados de petróleo consumidos é muito elevado, quando comparado ao quadro mundial (Petrobrás, 2005). Segundo o relatório da CETESB (2005), a maior parte das emissões de gases tóxicos, tais como os óxidos de nitrogênio e óxidos de enxofre, na RMSP são provenientes de veículos movidos a óleo diesel. Esse problema é agravado pela falta de manutenção e revisão da frota.

2. OBJETIVOS

O objetivo principal deste projeto de mestrado é desenvolver um modelo de emissão de poluentes em motores Diesel que represente satisfatoriamente o nível de emissão atual e que seja adaptável às alterações nas tecnologias de motores e combustíveis. A escolha do motor do ciclo Diesel se deve ao fato desses motores serem de grande cilindrada e, também devido às características do combustível, os quais emitem uma quantidade grande de poluentes.

Serão modeladas as emissões dos seguintes compostos: dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrogênio (NO_2), dióxido de enxofre (SO_2) e hidrocarbonetos não queimados (HC), visto que eles causam danos ao meio ambiente. A modelagem será baseada na equação da reação química de combustão do óleo diesel e em características mecânicas do funcionamento do motor do ciclo Diesel.

Para fins de ajuste do modelo de emissão serão utilizados dados de motores do ciclo Diesel de várias cilindradas e com vários cilindros, escolhidos entre os mais comuns na frota brasileira. Pretende-se com esta pesquisa, apresentar uma nova metodologia de previsão de emissões que possa, futuramente, ser adaptada a outros tipos de combustíveis e motores.

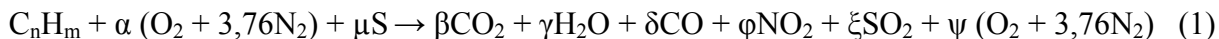
3. DESCRIÇÃO DO TRABALHO

Os gases poluentes emitidos pelo escapamento dos veículos são oriundos do processo de combustão que ocorre dentro do motor. A modelagem proposta por esse trabalho pressupõe a compreensão dos principais aspectos químicos e mecânicos que influem neste processo. O processo de combustão envolve diversas reações químicas que liberam energia, na forma de calor e luz. As principais reações desse processo ocorrem entre os componentes do combustível e o oxigênio do ar atmosférico, ou ar de combustão. Entretanto, outras reações são possíveis, como entre os componentes do ar ou entre componentes do próprio combustível. Os principais elementos químicos encontrados na maioria dos combustíveis são o carbono e o hidrogênio. Além desses, o enxofre é outro componente normalmente presente, entretanto, em quantidades bem menores (José, 2004).

Para a combustão ser completa é assumido que a reação entre o carbono e o hidrogênio do combustível, e o oxigênio do ar, produz, respectivamente, dióxido de carbono (CO₂) e vapor d'água (H₂O). Se existe enxofre no combustível ele será oxidado e transformado em dióxido de enxofre (SO₂) (Heisler, 1995). Segundo Baldissera (2002), a combustão incompleta ou parcial pode ser induzida pela limitação na quantidade de oxigênio oferecido para a reação, pelo resfriamento ou sopragem da chama; neste caso, aparecem produtos intermediários da combustão, tais como monóxido de carbono (CO) e hidrocarbonetos não-queimados (HC). Além destes compostos, o dióxido de nitrogênio também está presente entre os gases de exaustão, visto que ele pode ser formado a partir da oxidação do nitrogênio (N₂) do ar atmosférico (Carvalho Júnior e Lacava, 2003).

Durante o processo de combustão, a massa de cada elemento permanece a mesma. Assim, escrever as equações químicas e resolver os problemas que envolvem quantidades dos vários constituintes implica, basicamente, na conservação de massa de cada elemento (Pelliza, 2003). Neste contexto, pretende-se quantificar o volume total de emissão de cada um dos compostos dos gases de exaustão, mencionados acima, a partir do balanceamento da reação química de combustão de hidrocarbonetos, considerando a queima completa e incompleta do combustível.

A Equação 1 representa a reação de combustão de um combustível composto por hidrocarbonetos com certo teor de enxofre reagindo como ar atmosférico, normalizada para um mol de combustível. Os coeficientes α , μ , β , γ , δ , ϕ , ξ e ψ serão balanceados no decorrer da pesquisa, a partir das características do combustível óleo diesel e de parâmetros do funcionamento do motor que influem neste processo.



O óleo diesel é composto majoritariamente por hidrocarbonetos. A maior parte destes compostos presentes no óleo diesel são membros da classe de hidrocarbonetos parafínicos (C_nH_{2n+2}), naftênicos (C_nH_{2n}), ou aromáticos (C_nH_{2n-6}) (Chevron, 1998). A fim de determinar e quantificar cada um dos tipos de hidrocarbonetos que compõem o óleo diesel comercializado no Brasil, será realizada uma análise cromatográfica gasosa deste combustível. A cromatografia gasosa é uma técnica para separação e análise de misturas de substâncias voláteis (Augusto, 2005).

Cappiello *et al* (2002) afirma que toda espécie de emissão tem um comportamento particular. Por exemplo, o monóxido de carbono é sensível a relação ar/combustível no motor, ou seja, uma mistura que contenha excesso de combustível terá maior formação deste composto durante a combustão. Já a formação dos óxidos de nitrogênio é dependente da temperatura (Hawley *et al*, 1998). O volume dos gases de exaustão também é influenciado pelo consumo de combustível. Estes parâmetros estão relacionados com as características do funcionamento do motor.

O motor Diesel é uma máquina à combustão interna que opera segundo um ciclo de quatro tempos chamado ciclo Diesel, onde a ignição do combustível é alcançada pela compressão do ar a alta pressão seguida pela injeção do óleo diesel pulverizado na câmara de combustão (Petrobrás, 2005). A combustão ocorre a partir da elevada pressão e temperatura que predomina na câmara. Desta forma, serão considerados no ajuste dos coeficientes da Equação

1, os fatores deste processo que influem no desempenho da combustão como a relação ar/combustível, temperatura da câmara durante a injeção do combustível e taxa de compressão do ar. Aspectos que determinam o consumo de combustível, tais como número de cilindros, capacidade de cada cilindro e número de rotações por minuto também serão ponderados neste modelo.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a utilização desta abordagem, pretende-se obter um modelo simplificado, porém eficaz, para utilização no setor de planejamento de transporte com o objetivo de prever emissões de poluentes por veículos automotores, que seja de fácil utilização e adaptação às mudanças nas tecnologias. A partir deste estudo, espera-se que, no futuro, esta metodologia seja aplicada a outros combustíveis e tipos de motores. O desenvolvimento desta pesquisa também tornará possível a inclusão posterior de outros parâmetros que influem no processo de combustão.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa fornecida como auxílio a essa pesquisa.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- Augusto, F. *Cromatografia a gás: curso em diapositivos*. Material didático, Universidade Estadual de Campinas, SP. Disponível em: www.chemkeys.com acessado em junho/2005.
- Baldissera, L. A. (2002) *Avaliação teórica de desempenho de um motor quatro tempos diesel monocilíndrico de um ciclo bi-combustível, Diesel-GNV*. Trabalho de diplomação – Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, RS.
- Cappiello, A.; I. Chabini; E. K. Nam; A. Lue e M. Abou Zeid (2002) *A statistical model of vehicle emissions and fuel consumption*. Ford-MIT Alliance.
- Cappiello, A. (2002) *Modeling traffic flow emissions*. 157 p. Msc Thesis – Massachusetts Institute of Technology. EUA.
- Carvalho Júnior, J. A. e P. T. Lacava (2003) *Emissões em processos de combustão*. Editora Unesp, São Paulo, SP.
- CETESB (2005) *Relatório de qualidade do ar no Estado de São Paulo – 2004*. Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Governo do Estado de São Paulo, São Paulo, SP.
- Chevron Products Company (1998) *Diesel Fuels Technical Review*. EUA.
- Faiz, A.; C. S. Weaver e M. P. Walsh (1996) *Air pollution from motor vehicles: standards and technologies for controlling emissions*. The World Bank, Washington, D.C, EUA.
- Hawley, J. G.; J. C. Brace; F. J. Wallace e R. W. Horrocks (1998) *Handbook of air pollution from internal combustion engines – Pollutant Formation and Control*. Academic Press, EUA.
- Heisler, H. (1995) *Advanced Engine Technology*. SAE Internacional. London, UK.
- Jacondino, G. B. e H. B. B. Cybis (2002) Avaliação de emissão de poluentes em simuladores de tráfego. *Panorama Nacional de Pesquisa em Transportes – XVI ANPET*, v. 1, p 211-222. Natal, RN.
- José, H. J. (2004) *Combustão e Combustíveis*. Apostila de Química Tecnológica Geral – Universidade Federal de Santa Catarina, SC.
- Pelliza, G. (2003) *Análise de veículos convertidos para o uso do combustível gás natural*. 139 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, RS.
- Petrobrás (2005) *Caracterização do Petróleo e seus produtos*. Relatório técnico interno da Petrobrás.
-

Endereço dos autores

Vivianne Hermógenes Pereira (viviannehp@yahoo.com.br)

Eiji Kawamoto (eiji@sc.usp.br)

Departamento de Transportes – Escola de Engenharia de São Carlos/USP

Av Trabalhador São Carlense, 400 – Centro-CEP 135600-590 – São Carlos-SP

Tel: (16) 3373-9601/9613

Fax: (16) 3373-9602