

## 1. Introdução

Nos últimos anos, o crescimento econômico dos países desenvolvidos provocou o aumento da demanda mundial por energia. Com esta também veio um forte aumento da dependência do petróleo e do gás natural em escala mundial.

Segundo dados divulgados pela Agência Internacional de Energia (AIE 2008), entre 2002 e 2025 o consumo de energia elétrica no Brasil deverá crescer em média 2,6% ao ano.

Atualmente cerca de 100 milhões de litros de óleo diesel são consumidos diariamente no Brasil, especialmente no transporte rodoviário interurbano, responsável por um consumo de 78,1 milhões de litros diários.

Em seguida, aparece o transporte coletivo urbano, que demanda 12 milhões de litros por dia. Além desses, destaca-se a utilização de diesel nos setores de transportes fluviais e ferroviários, bem como na geração termelétrica.

Tais números demonstram o potencial do uso do gás natural em substituição (total ou parcial) de derivados do petróleo, o que permitiria uma redução da demanda de diesel no país, diminuindo a dependência do derivado importado e promovendo melhor estruturação do parque de refino brasileiro.

No setor de geração elétrica, produz-se um total de 35 GW médios. Da capacidade que se pretende ter instalado até 2010, 81% (28,2 GW médios) (Pires, 2006) apresentam algum tipo de restrição à sua instalação (tipicamente sócios - ambientais). Destes 28,2 médios, 62% sofrem restrições graves, enquanto que 38% sofrem restrições do tipo leve.

No caso das termelétricas, que responderiam por 11,7 GW médios, equivalente a 57% da expansão prevista, 89% de sua capacidade total em novos empreendimentos apresentam algum tipo de restrição.

As fontes de geração térmica ou aplicações veiculares, dada sua inerente poluição, embora economicamente necessárias, são ambientalmente indesejáveis. Do ponto de vista técnico ambiental é possível a substituição parcial de Diesel por gás no modo bicomustível (Diesel-Gás) em usinas termelétricas.

Nestas, existe o potencial de redução das emissões de material particulado e de óxidos de nitrogênio, quando comparando com as emissões do Diesel original.

## 1.1 Poluentes atmosféricos

Podemos classificar os poluentes de acordo com sua origem em duas categorias:

- Primários: Aqueles emitidos diretamente pelas fontes de emissão.
- Secundários: São aqueles formados na atmosfera como produtos de reações químicas secundárias.

Um poluente que está presente na atmosfera reage com algum outro material, que pode ser um componente natural da atmosfera ou outro poluente. A reação pode ser fotoquímica ou não.

A determinação da qualidade do ar está restrita a um grupo de poluentes, quer por sua maior frequência de ocorrência, quer pelos efeitos adversos que causam ao meio ambiente. São eles: dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ), partículas total em suspensão (PTS), partículas inaláveis (PI), monóxido de carbono (CO), oxidantes fotoquímicos expressos como ozônio ( $\text{O}_3$ ), hidrocarbonetos totais (HC) e óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ).

## 1.2 Principais Poluentes Atmosféricos

### Material Particulado

O material particulado é uma mistura de partículas líquidas e sólidas em suspensão no ar. Sua composição e tamanho dependem das fontes de emissão. O tamanho das partículas é expresso em relação ao seu tamanho aerodinâmico, definido como o diâmetro de uma esfera densa que tem a mesma velocidade de sedimentação que a partícula em questão.

### Dióxido de Enxofre ( $\text{SO}_2$ ) e Aerossóis Ácidos

Resultado da combustão de elementos fósseis, como carvão e petróleo, têm como fontes principais os automóveis e termelétricas. Uma vez lançado na atmosfera, o  $\text{SO}_2$  é oxidado, formando ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ). Esta transformação depende do tempo de permanência no ar, da presença de luz solar, temperatura, umidade e adsorção do gás na superfície das partículas. A permanência no ar por um período grande de tempo faz com que o  $\text{SO}_2$  e seus derivados (aerossóis ácidos) sejam transportados para

regiões distantes das fontes primárias de emissão, aumentando a área de atuação destes poluentes (FEMMA 2007).

### Monóxido de Carbono (CO)

A principal fonte deste poluente no meio urbano são os veículos automotores. Pessoas que passam várias horas do dia dentro de um automóvel, ou que tenham que andar a pé ou de bicicleta são os mais afetados. Porém os ambientes internos, como residências e escritórios podem vir a sofrer os efeitos do CO proveniente do ambiente externo que entra pelo sistema de ventilação, ou que é produzido localmente por aquecedores a óleo, fumantes, churrasqueiras e fogão a gás.

### Óxidos de Nitrogênio (NO<sub>x</sub>)

As principais fontes de óxido nítrico (NO) e dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>) são os motores dos automóveis. As usinas termelétricas e indústrias que utilizam combustíveis fósseis contribuem em menor escala. Durante a combustão sob elevadas temperaturas, o oxigênio reage com o nitrogênio formando óxido nítrico (NO), dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>) e outros óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>).

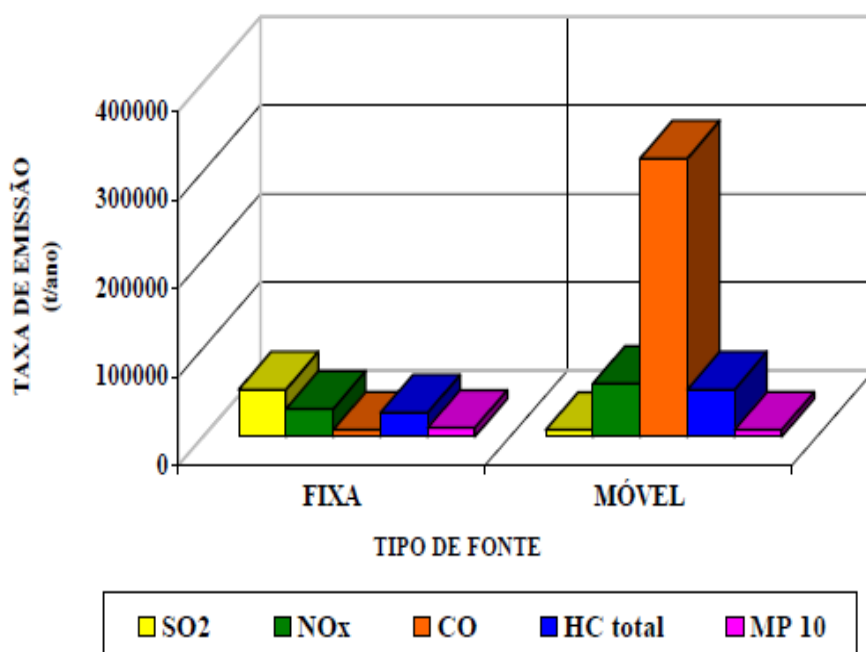
Estes compostos são extremamente reativos e na presença de oxigênio (O<sub>2</sub>), ozônio e hidrocarbonetos, o NO se transforma em NO<sub>2</sub>. Por sua vez, NO<sub>2</sub> na presença de luz do sol, reage com hidrocarbonetos e oxigênio formando ozônio (O<sub>3</sub>), sendo um dos principais precursores deste poluente na troposfera.

### Hidrocarbonetos (HC)

Os hidrocarbonetos também conhecidos como combustíveis não queimados, ou ainda como frações de compostos orgânicos, são frações do combustível que não foram oxidadas. Bem como os produtos da degradação térmica do combustível primário em hidrocarbonetos de menos peso molecular (exemplo: metano), que são descarregados na atmosfera sem sofrer oxidação completa.

Existem duas grandes fontes de emissão, fontes estacionárias e fontes móveis, (figura1) para o estado de Rio de Janeiro (FEEMA 2007).

Figura1: Emissões por tipo de fonte na região metropolitana de Rio de Janeiro (FEMMA 2007).



Estudos observacionais têm procurado mostrar, com resultados cada vez mais significativos, efeitos de mortalidade associados aos poluentes do ar.

No entanto, para se avaliar a plausibilidade biológica destes achados, tem sido necessária a realização de estudos de intervenção e experimentais, as concentrações de poluentes atmosféricos encontradas em grandes cidades acarretam afecções agudas e crônicas no trato respiratório, mesmo em concentrações abaixo do padrão de qualidade do ar.

A maior incidência de patologias, tais como asma e bronquite, está associada com as variações das concentrações de vários poluentes atmosféricos.

Tabela 1: Fontes de Emissão e Efeitos na saúde dos poluentes monitorados pelo FEEMA (FEMMA 2007).

<b>Poluentes Monitorados</b>	<b>Fontes de Emissão</b>	<b>Efeitos à Saúde</b>
Partículas em suspensão	Combustão incompleta originada da indústria, motores à combustão, queimadas e poeiras diversas.	Interfere no sistema respiratório, pode afetar os pulmões e todo o organismo.
Dióxido de Enxofre SO <sub>2</sub>	Queima de combustíveis fósseis que contenham enxofre, como óleo combustível, carvão e óleo diesel.	Ação irritante nas vias respiratórias, o que provoca tosse e até falta de ar. Agravando os sintomas da asma e da bronquite crônica. Afeta, ainda, outros órgãos sensoriais.
Óxidos de Nitrogênio NO <sub>2</sub> e NO	Queima de combustíveis em altas temperaturas em veículos, aviões fornos e incineradores.	Agem sobre o sistema respiratório, podendo causar irritações e, em altas concentrações, problemas respiratórios e edema pulmonar.
Monóxido de Carbono CO	Combustão incompleta de materiais que contenham carbono como derivados de petróleo e carvão.	Provoca dificuldades respiratórias e asfixia. É perigoso para aqueles q têm problemas cardíacos e pulmonares
Ozônio O <sub>3</sub>	Não é um poluente emitido diretamente pelas fontes, mas formado na atmosfera através da reação entre os compostos orgânicos voláteis e óxidos de nitrogênio em presença de luz	Irritação nos olhos e nas vias respiratórias, agravando doenças pré-existentes, como asma e bronquite, reduzindo as funções pulmonares.

### 1.3 Objetivos

A operação Diesel-Gás já foi investigada em diversas iniciativas passadas (como Pereira, 2006 e Casado, 2005), inclusive em investigações que focaram no estudo das emissões de motores operando no modo bicomustível diesel gás (Cuisano, 2006). Atualmente se vem desenvolvendo iniciativas complementares na questão de emissões

Diesel-gás no laboratório LEV-PUC (Laboratório de Engenharia Veicular) ou, mais especificamente, a análise do controle de emissões pelo controle da vazão de ar de combustão em grupos geradores.

Os objetivos do presente trabalho são:

- Levantamento de dados empíricos de desempenho e emissões em um gerador de médio porte convertido para a operação no modo diesel/gás. Tal gerador elétrico conta com turbo compressor e *intercooler* para o condicionamento do ar de combustão. Tem potência elétrica de 135 KVA, operando no modo Diesel original ou no Bi combustível (Diesel-Gás);
- Avaliar o método de controle da vazão de ar de combustão, tanto no modo Diesel original, quanto no Bicomcombustível, procurando-se uma queima de combustível otimizada, e redução das emissões.

#### **1.4. Descrição da tese**

A tese esta composta por sete capítulos:

No primeiro capítulo se faz uma introdução ao tema e são apresentados os objetivos da dissertação.

O capítulo dois é desenvolvido a partir de uma revisão bibliográfica, onde se apreciam os processos de combustão real e completa. Informações sobre o diesel e o gás natural; os processos de formação de poluentes; conceito de potência em grupos geradores e métodos de redução de emissões em geradores.

O aparato experimental e a metodologia desenvolvida são descritos no capítulo três. O Capítulo quatro apresenta o equacionamento empregado na redução de dados experimentais e variáveis de interesse.

Os resultados experimentais e suas análises são apresentados no capítulo cinco.

No capítulo seis são feitas as conclusões e as recomendações para trabalhos futuros.

As referências bibliográficas, análises de incertezas experimentais e planilhas com os dados experimentais medidos são apresentadas nos apêndices.