

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE QUÍMICA E BIOLOGIA
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM QUÍMICA AMBIENTAL**

**RODRIGO ALBERTO DOS SANTOS RODRIGUES
YULIANA KALINOVSKI**

**ANÁLISE DAS EMISSÕES GASOSAS DA FROTA DE UMA
EMPRESA PERTENCENTE À REDE DE TRANSPORTE COLETIVO
DE CURITIBA**

TRABALHO DE DIPLOMAÇÃO

CURITIBA

2011

RODRIGO ALBERTO DOS SANTOS RODRIGUES
YULIANA KALINOVSKI

**ANÁLISE DAS EMISSÕES GASOSAS DA FROTA DE UMA
EMPRESA PERTENCENTE À REDE DE TRANSPORTE COLETIVO
DE CURITIBA**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação apresentado como requisito à aprovação na disciplina de Trabalho de Diplomação, do Curso de Tecnologia em Química Ambiental, do Departamento Acadêmico de Química e Biologia – DAQBI – da Unidade de Curitiba da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para a obtenção do título de tecnólogo.

Orientador: Profº Dr. Pedro Ramos da Costa Neto

CURITIBA

2011

TERMO DE APROVAÇÃO

**RODRIGO ALBERTO DOS SANTOS RODRIGUES
YULIANA KALINOVSKI**

ANÁLISE DAS EMISSÕES GASOSAS DA FROTA DE UMA EMPRESA PERTENCENTE À REDE DE TRANSPORTE COLETIVO DE CURITIBA

Trabalho de Diplomação apresentado como requisito parcial à obtenção do grau de TECNÓLOGO EM QUÍMICA AMBIENTAL do Departamento Acadêmico de Química e Biologia (DAQBI) do Câmpus Curitiba da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR e **APROVADO** pela seguinte banca examinadora:

Membro 1 – PROF^a. DR^a. ERIKA PEREIRA FELIX

Departamento Acadêmico de Química e Biologia, (UTFPR)

Membro 2 – PROF^a. DR^a. VALMA MARTINS BARBOSA

Departamento Acadêmico de Química e Biologia (UTFPR)

Orientador – PROF. DR. PEDRO RAMOS DA COSTA NETO

Departamento Acadêmico de Química e Biologia (UTFPR)

Coordenadora de Curso – PROF^a. DR^a. VALMA MARTINS BARBOSA

Curitiba, 5 de dezembro de 2011.

A nossos pais e grandes amigos pelo esforço, dedicação e compreensão, em todos os momentos desta e de outras caminhadas, e pelo grande exemplo de vida

AGRADECIMENTOS

Ao nosso orientador Professor Dr. Pedro Ramos da Costa Neto, por toda a ajuda, ensino, conselhos e apoio.

Ao motorista da URBS Dorian Aldo Bruner de Lima que nos auxiliou muito trazendo todos os veículos que pedíamos até o local de análises e responsável pelo funcionamento dos mesmos enquanto as efetuávamos.

Ao Celso Ferreira Lucio da Unidade de Vistoria do Transporte Coletivo por nos receber e permitir a idealização do trabalho.

Ao chefe da oficina Armando Tonin e José Carlos Travain gerente de manutenção por permitir nosso acesso aos veículos e ao pátio da Redentor, para que fosse possível realizar as análises.

À Similar apoio técnico e a Fundação Araucária.

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná por nos ceder o analisador de gases.

A toda a nossa família, por toda a confiança, compreensão e paciência nestes meses de trabalho e dedicação.

Aos colegas da graduação, presentes desde o início do curso, por todas as conversas, conselhos, comemorações, alegrias, incentivo e ajuda.

A todos nossos demais amigos por tornar nossos horários livres e fins de semana mais divertidos e livres do estresse semanal.

RESUMO

RODRIGUES, Rodrigo Alberto dos Santos; KALINVOSKI, Yuliana. Análise das emissões gasosas de uma empresa pertencente à rede de transporte coletivo de Curitiba. 2011. Trabalho de diplomação – Curso Superior de Tecnologia em Química Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2011.

Nas últimas décadas o aumento da população em Curitiba e Região Metropolitana resultaram em um aumento na frota de veículos no sistema de transporte coletivo, desencadeando grande consumo de combustível e conseqüentemente emissões. Para monitoramento dessas emissões em Curitiba, o órgão responsável pelo transporte público, realiza apenas o teste de opacidade, que mede a quantidade de fumaça emitida pelos ônibus, portanto esse trabalho se preocupou em analisar os principais gases expelidos pelos escapamentos (O_2 , CO_2 , CO , NO , NO_2 e SO_2) de alguns veículos da frota pertencente a empresa Redentor LTDA, que possui um total de 360 ônibus. Comparou-se as emissões entre os modelos diferentes, sistemas de injeção diferentes, idade veicular, e tipo de combustível utilizado. Os testes demonstraram que para as emissões de CO_2 e CO houve uma menor concentração nos veículos de injeção eletrônica em relação aos de injeção mecânica, enquanto os parâmetros de NO e NO_2 não foi conclusivo para isso. O veículo movido a biocombustível obteve menor emissão dos gases analisados em relação a um de características semelhantes movidos a óleo diesel.

Palavras-chaves: emissão veicular, diesel, ônibus, gases de combustão

ABSTRACT

RODRIGUES, Rodrigo Alberto dos Santos; KALINVOSKI, Yuliana. Analysis of the gaseous emissions of a company belonging to the transportation network of Curitiba. 2011. Trabalho de diplomação – Curso Superior de Tecnologia em Química Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2011.

In recent decades the population growth in Curitiba and metropolitan region resulted in an increase in the fleet of vehicles in public transportation system, leading to high fuel consumption and consequently emissions. To monitor these emissions in Curitiba, the agency responsible for public transport, carries only the opacity test, which measures the amount of smoke emitted by the bus, so this work bothered to analyze the main gases expelled by the exhaust (O_2 , CO_2 , CO , NO , NO_2 and SO_2) of some fleet vehicles owned by the Redentor LTDA, which has a total of 360 buses. We compared emissions between the different models, different injection systems, vehicle age and type of fuel used. Tests have shown that emission of CO_2 and CO concentration was lower in the electronic injection vehicles in relation to mechanical injection, while the parameters of NO and NO_2 was not conclusive for this. The biofuel-powered vehicle had lower emissions of gases analyzed in relation to similar features of a diesel-powered.

Keywords: vehicle emissions, diesel, bus, flue gas

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Representação de motor de combustão interna.....	19
Figura 2. Representação de motores de ignição por faísca	20
Figura 3. Representação de motores de ignição espontânea.....	21
Figura 4: Etapa de admissão na seqüência de operação do motor Diesel.....	22
Figura 5: Etapa de compressão na seqüência de operação do motor Diesel.....	23
Figura 6: Etapa de Expansão na seqüência de operação do motor Diesel.....	23
Figura 7: Etapa de escapamento na seqüência de operação do motor Diesel.....	23
Figura 8. Exemplo de reação de transesterificação de triglicerídeos.....	26
Figura 9: Esquema do Ciclo Fotoquímico.....	29
Figura 10. Formação da chuva ácida a partir dos óxidos de nitrogênio.....	30
Figura 11 Fotografia dos ônibus analisados.....	36
Figura 12. Exemplo de certificado de cadastro e inspeção e certificado de registro e licenciamento de veículo.....	37
Figura 13. Identificação da utilização de biodiesel pelo veículo.....	38
Figura 14. Foto do analisador de gases de combustão Ecil Ecoline 600.....	39
Figura 15. Foto da medição dos gases pela sonda do equipamento diretamente no escapamento dos veículos e utilizando o tubo APA.....	41

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 Teor de CO ₂ no gás de exaustão.....	18
Gráfico 2 Emissão de O ₂	42
Gráfico 3 Emissão de CO ₂	43
Gráfico 4 Emissão de CO.....	44
Gráfico 5 Emissão de NO.....	46
Gráfico 6 Emissão de NO ₂	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Dados dos ônibus analisados.....	39
---	-----------

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ANP – Agencia Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis

CO – Molécula de monóxido de carbono

CO₂ – molécula de dióxido de carbono

cv – cavalo vapor

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

DAQBI – Departamento de Química e Biologia

DENATRAN - Departamento Nacional de Trânsito

HC - Hidrocarbonetos

H₂O – molécula de água

H₂SO₃ – Ácido sulfuroso

H₂SO₄ – Ácido sulfúrico

HPA - hidrocarbonetos policíclicos aromáticos

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

km - Quilometros

MP – material particulado

N₂ – Molécula de nitrogênio

NO – molécula de óxido nítrico

NO₂ – molécula de dióxido de nitrogênio

NO_x – Óxidos de nitrogênio

O₂ – Molécula de oxigênio

PCPV - Planos de Controle de Poluição Veicular

ppm – partes por milhão

PROCONVE - Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores

PRONAR - Programa Nacional de Controle de Qualidade do Ar

RIT – Rede Integrada de Transportes

RMC – Região Metropolitana de Curitiba

rpm – Rotações por minuto

SO₂ – dióxido de enxofre

SO₃ – trióxido de enxofre

SO_x – Óxidos de enxofre

URBS – Urbanização de Curitiba

UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
2	OBJETIVOS.....	14
	2.1 Objetivo geral.....	14
	2.2 Objetivos específicos.....	14
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
	3.1 O transporte coletivo de Curitiba nos dias de hoje.....	15
	3.2 Combustão.....	15
	3.2.1 Avaliação do rendimento da combustão.....	16
	3.2.2 Teor de CO ₂ no gás de exaustão.....	18
	3.3 Tipos de motores.....	19
	3.3.1 Motores de combustão interna.....	19
	3.3.2 Motores quatro tempos de ignição espontânea (MIE).....	22
	3.3.3 Combustão em Motores de Ignição Espontânea.....	24
	3.4 Combustíveis utilizados:.....	24
	3.4.1 Óleo diesel.....	24
	3.4.2 Biodiesel.....	25
	3.5 Poluição Atmosférica.....	26
	3.5.1 Principais Poluentes Atmosféricos.....	27
	3.5.2 Legislação referente à poluição atmosférica.....	34
4	METODOLOGIA.....	36
	4.1 Levantamento dos dados.....	36
	4.2 Medição dos gases.....	40
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	42
	5.1 Emissão de O ₂	42
	5.2 Emissão de CO ₂	43
	5.3 Emissão de CO.....	44
	5.4 Comparação entre as emissões de O ₂ , CO ₂ e CO.....	45
	5.5 Emissão de NO.....	46
	5.6 Emissão de NO ₂	47
	5.7 Comparativo entre as emissões de NO e NO ₂	48
	5.8 Emissão de SO ₂	48
	5.9 Considerações finais.....	48
6	CONCLUSÃO.....	50
	REFERÊNCIAS.....	51
	ANEXOS.....	57

1 INTRODUÇÃO

A população em geral está constantemente exposta aos efeitos da poluição atmosférica, sendo que tal fato provoca impactos negativos sobre o bem-estar e a saúde dos indivíduos a ela exposta, fato que se agrava nos grandes centros. Dentre as principais fontes de poluição do ar destacam-se as emissões veiculares e, destas, as emissões provenientes do transporte coletivo, os quais atendem aos centros urbanos (PIAN *et al*, 2009).

Dentre os principais produtos formados na combustão estão os que não causam danos à saúde, CO₂, H₂O e moléculas de nitrogênio (N₂) e oxigênio (O₂); os que apresentam riscos à saúde e tem sua emissão regulamentada, como CO, hidrocarbonetos (HC), óxidos de nitrogênio (NO_x), óxidos de enxofre (SO_x), material particulado (MP) e aldeídos; e os prejudiciais que ainda não possuem regulamentação como amônia, benzeno, cianetos e hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA) (SILVA, 2007).

Veículos movidos a diesel são fontes significativas de emissão de materiais tóxicos, e diversos estudos científicos têm correlacionado o desenvolvimento de doenças graves na população dos meios urbanos, como câncer, hipertensão, cardiopatias, acidentes vasculares e problemas respiratórios, com a exposição a tais poluentes atmosféricos (FREITAS *et al*, 2004; GONÇALVES *et al*, 2005; LIN *et al*, 2003, 2004; MARTINS *et al*, 2002).

A cidade de Curitiba, foco do trabalho, localiza-se na região sul do Brasil, sendo essa a capital do estado do Paraná, com aproximadamente 1,8 milhões de habitantes (IBGE, 2009). O transporte público nessa cidade é realizado por 27 empresas privadas detentoras do direito de explorar esse serviço, totalizando uma frota de 2888 veículos (Rede Integrada: 2451; Não Integrada: 437), dentre ônibus, microônibus, ônibus articulados e biarticulados, que utilizam o diesel como combustível (URBS, 2011).

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Analisar as emissões gasosas dos ônibus de uma empresa pertencente à rede de transporte coletivo de Curitiba.

2.2 Objetivos específicos

- Levantar os dados e as especificações dos veículos da empresa Redentor LTDA
- Medir as emissões de dióxido de enxofre (SO₂), óxidos de nitrogênio (NO e NO₂), óxidos de carbono (CO e CO₂) e oxigênio dos veículos selecionados.
- Comparar as emissões entre ônibus de marcas diferentes e sistema de ignição (mecânica ou eletrônica), bem como comparar as emissões de veículo movido a biocombustível com os que utilizam diesel.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 O transporte coletivo de Curitiba nos dias de hoje

O transporte público no Município de Curitiba e Região Metropolitana, segundo a URBS compõem-se atualmente da Rede Integrada de Transporte que abrange 93% dos usuários da capital e 73% dos usuários metropolitanos, que é composto do Sistema Urbano e do Sistema Metropolitano.

A integração física e tarifária no município de Curitiba e Região Metropolitana, operada em regime de tarifa única, abrangem 14 municípios e é composta de 250 linhas urbanas e 180 linhas metropolitanas, que fazem parte da Rede Integrada de Transportes, conhecida pela sigla RIT.

São operadas por 27 empresas permissionárias e nelas circulam, nos dias úteis, cerca de 2260 ônibus que transportam a média de 2515000 passageiros pagantes, contando com a RIT e o sistema não integrado.

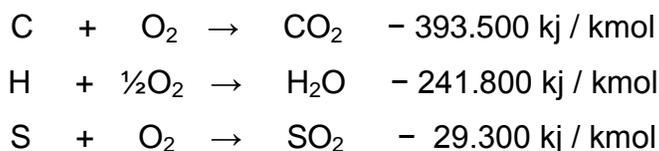
Desde o dia 28 de março de 2011 circula em Curitiba os veículos biarticulados do sistema “Ligeirão” com 28 metros de comprimento e que opera com 100% de biodiesel.

A permissionária Auto Viação Redentor LTDA conta hoje com cerca de 350 ônibus, sendo 11 destes operados com 100% de biocombustível, dos quais 7 são veículos do sistema “Ligeirão” e 4 são articulados, conforme relatado pelo encarregado responsável. .

3.2 Combustão

Reações de combustão são reações químicas que envolvem a oxidação completa de um combustível. Materiais ou compostos são considerados combustíveis industriais quando sua oxidação pode ser feita com liberação de energia suficiente para aproveitamento industrial. Os principais elementos

químicos que constituem um combustível são Carbono, Hidrogênio e em alguns casos, enxofre. Estes elementos reagem com oxigênio, e na sua forma pura apresentam a seguinte liberação de calor (BIZZO, 2005):



A maioria dos processos industriais de combustão utiliza o ar ambiente como fonte de fornecimento de oxigênio para a combustão. O conhecimento das necessidades de ar para combustão, bem como da composição e volume dos produtos de combustão é fundamental para o projeto e controle de equipamentos de combustão. A estequiometria química nos fornece os principais dados necessários aos cálculos de combustão (BOSCH, 2005).

Qualquer combustível convencional requer, de acordo com sua composição, uma quantidade específica e calculável de oxigênio (e, portanto de ar, uma vez que este é o agente comum de fornecimento) para atingir teoricamente uma reação completa. Menos do que essa quantidade vai produzir combustão incompleta e, portanto perda de calor potencial. Mais do que essa quantidade, gera perdas excessivas de gás de combustão e da temperatura. Na prática, um pouco mais do que a quantidade teórica é usada (BOSCH, 2005).

3.2.1 Avaliação do rendimento da combustão

Segundo Bizzo (2005), se a composição do combustível e a composição dos produtos de sua combustão são medidas, o rendimento da combustão pode ser calculado. A quantidade teórica de ar (ou oxigênio) para combustão completa e a composição estequiométrica dos produtos combustíveis são calculados e comparados com a composição real obtida pela análise dos gases de combustão; isto pode mostrar:

a) que quantidade de calor está sendo desperdiçada em aquecer quantidades excessivas de gases de combustão; isto quer dizer que está sendo usado mais ar que o necessário. (Na prática um pequeno excesso sobre o ar estequiométrico é necessário para assegurar uma completa combustão).

b) Se parte do combustível está escapando da região de combustão sem estar completamente queimado. Isto é demonstrada pela presença de CO, fuligem, combustível não queimado e possivelmente hidrogênio nos produtos combustíveis.

A análise dos gases de combustão ou de gases perdidos dos processos de combustão é comumente relatada em base seca de volume, isto é, sem referência à água no gás. O valor da análise do gás de combustão reside na informação que tal análise é capaz de proporcionar e na interpretação posta em tal informação. Como foi observado previamente, um combustível específico requer uma quantidade específica de ar para a combustão completa teórica, com alguma quantidade adicional para atingir praticamente a combustão completa. Abaixo desta quantidade prática, que é uma função do tipo de combustível e das condições de combustão, é desperdiçado combustível e esta condição pode ser reconhecida pelo aparecimento de quantidades excessivas de monóxido de carbono no gás de combustão, um pouco antes da produção da fumaça preta (fuligem). Acima desta quantidade, o calor é perdido junto com quantidades excessivas de gás de combustão e é reconhecido pela grande quantidade de oxigênio no gás de combustão. A aplicação do bom senso ao interpretar a análise do gás de combustão pode levar, por exemplo, à descoberta de deficiências no processo de combustão, vazamento no sistema condutor e inconsistências na análise e especificação do combustível (BIZZO, 2005).

3.2.2 Teor de CO₂ no gás de exaustão

A medida do teor de CO₂ no gás de exaustão dá uma medida útil do rendimento da combustão de um determinado combustível. A proporção máxima de CO₂ nos produtos de combustão será encontrada quando a relação ar/combustível for estequiométrica como mostra o gráfico 1. Em relações abaixo da estequiométrica, o teor de CO₂ cai, porém há o aparecimento de monóxido de carbono

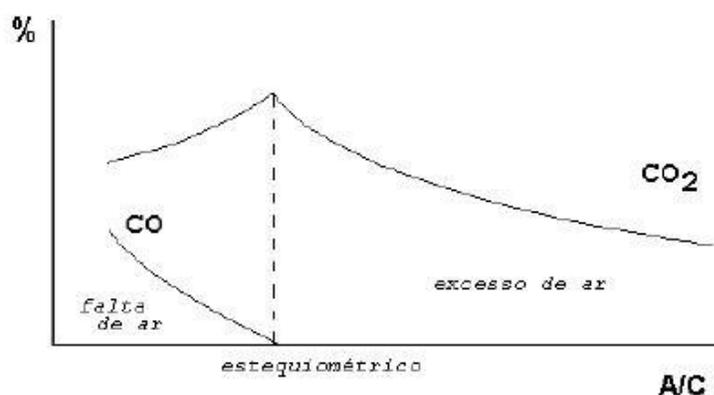


Gráfico 01 - Teor de CO₂ no gás de exaustão (BIZZO, 2005)

Na prática as concentrações de CO₂ devem ser mais baixas que a estequiométrica pela necessidade de se usar ar em excesso a fim de se atingir a combustão completa. A quantidade de excesso de ar necessária decresce com o aumento da capacidade e com o rendimento maior no equipamento de combustão. Valores típicos são:

Gases: 0 a 10%

Líquidos: 2 a 30%

Sólidos: > 50%

3.3 Tipos de motores

Segundo Oliveira Jr (2004), motores térmicos são dispositivos que convertem energia térmica em trabalho mecânico, divide-se em dois grupos:

- **Combustão interna** - a mistura admitida para dentro do motor é queimada e sua energia térmica é transformada em energia mecânica.
- **Combustão externa** - usa-se o combustível para aquecimento de uma caldeira, onde ocorre a vaporização do líquido que será usado para a propulsão do aparelho que transformará a energia térmica em energia mecânica. Ex. Máquina a vapor, turbina a vapor, etc.

Os veículos automotivos utilizam-se de motores de combustão interna, os quais podem ser classificados em duas amplas categorias: os motores de ignição por faísca – motores movidos a gasolina e a álcool – e motores de combustão espontânea por compressão – os motores Diesel. As principais diferenças, no que tange ao funcionamento destes motores, dizem respeito à robustez, às relações de compressão de ambos, ao sistema de introdução de combustível e à ignição. (DENATRAN, 1980)

3.3.1 Motores de combustão interna

Um motor de combustão interna, alternativo, se divide em três partes principais (Figura 01):

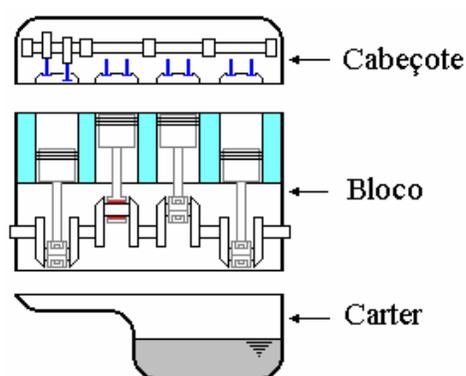


Figura 01. Representação de motor de combustão interna (OLIVEIRA JR, 2004).

Segundo Oliveira Jr. (2004), os motores de combustão interna são classificados quanto ao:

Tipo de movimento:

- Alternativos (a pistão)
- Rotativos (Turbinas a gás - Wankel)

Forma de iniciar a combustão:

- Ignição por faísca (Figura 02)

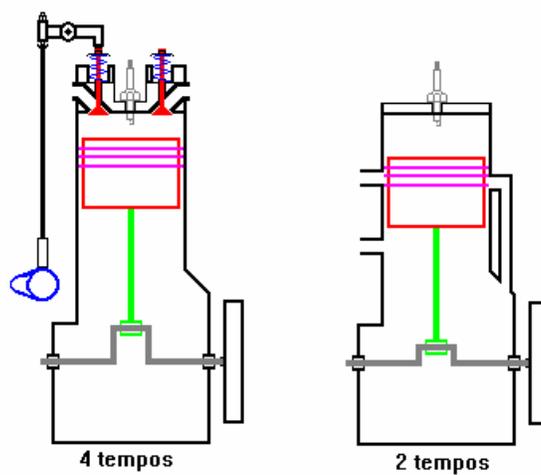


Figura 02. Representação de motores de ignição por faísca (OLIVEIRA JR, 2004).

- Ignição espontânea (Figura 03)

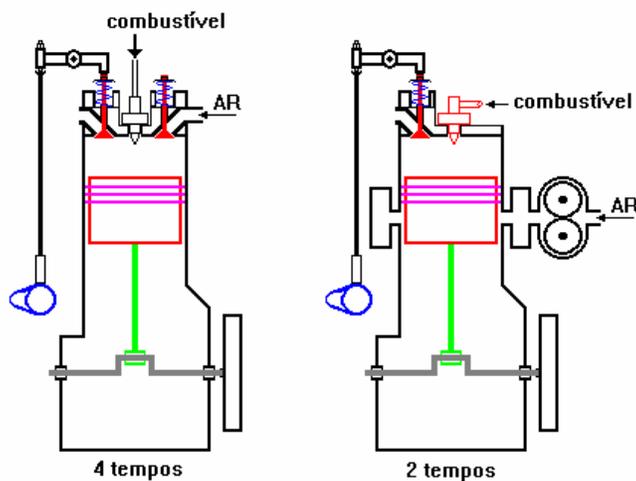


Figura 03. Representação de motores de ignição espontânea (OLIVEIRA JR, 2004).

Disposição dos órgãos internos:

- Em linha
- Em V
- Opostos

Número de cursos do pistão por ciclo motor:

- Dois tempos (dois cursos do pistão por ciclo)

Motores de Ignição por Faísca (MIF): Motocicletas, cortadores de grama, pequenas bombas, pequenos motores de popa, etc.

Motores de Ignição Espontânea (MIE): Navios de grande porte e instalações estacionárias de grande porte.

- Quatro tempos (quatro cursos por ciclo)

Motores de Ignição por Faísca (MIF): Veículos de passeio, pequenos veículos de carga, pequenos aviões e pequenas embarcações

Motores de Ignição Espontânea (MIE): veículos para transporte terrestre, embarcações de médio e pequeno porte e instalações industriais.

Um ciclo motor é composto de quatro fases: admissão, compressão, expansão e escapamento.

3.3.2 Motores quatro tempos de ignição espontânea (MIE)

Em 1892, Rudolph Diesel idealizou um novo motor com ignição espontânea, chamado até hoje de motor Diesel. (OLIVEIRA JR, 2004)

Antes de mostrar a seqüência de operação do motor Diesel, faz-se necessário apresentar algumas definições.

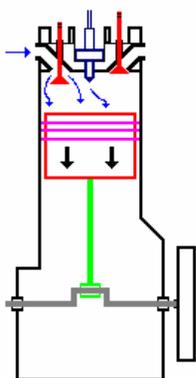
PMS - Ponto morto superior

É o ponto de máximo afastamento da cabeça do pistão em relação à árvore de manivelas (OLIVEIRA JR, 2004)

PMI - Ponto morto inferior

É o ponto de mínimo afastamento da cabeça do pistão em relação à árvore de manivelas (OLIVEIRA JR, 2004)

1 - Admissão



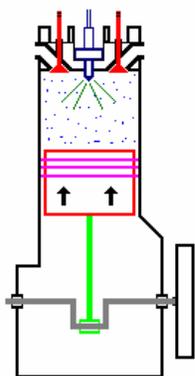
Válvula de admissão aberta.

Válvula de escape fechada.

O pistão se desloca do PMS ao PMI admitindo para dentro do cilindro apenas ar

Figura 04: Etapa de admissão na seqüência de operação do motor Diesel. (OLIVEIRA JR, 2004)

2 - Compressão



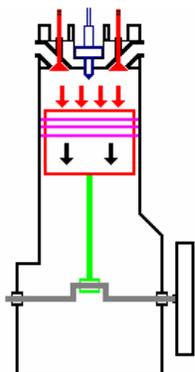
Válvula de admissão fechada.

Válvula de escape fechada.

O pistão se desloca do PMI ao PMS, comprimindo o ar. Antes do pistão atingir o PMS ocorre a injeção do combustível, que se mistura com o ar, que está aquecido devido à compressão, dando origem à combustão

Figura 05: Etapa de compressão na seqüência de operação do motor Diesel. (OLIVEIRA JR, 2004)

3 - Expansão



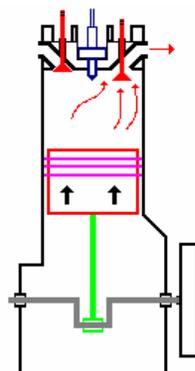
Válvula de admissão fechada.

Válvula de escape fechada.

A combustão provoca a expansão dos gases que empurram o pistão, fazendo-o se deslocar do PMS ao PMI.

Figura 06: Etapa de Expansão na seqüência de operação do motor Diesel. (OLIVEIRA JR, 2004)

4 – Escapamento



Válvula de admissão fechada.

Válvula de escape aberta.

O pistão se desloca do PMI ao PMS, empurrando para fora os gases queimados.

Figura 07: Etapa de escapamento na seqüência de operação do motor Diesel. (OLIVEIRA JR, 2004)]

3.3.3 Combustão em Motores de Ignição Espontânea

Segundo Oliveira Jr (2004), antes de o pistão atingir o PMS, no curso de compressão, o injetor começa a introduzir combustível pulverizado, que é misturado com o ar, que está com uma temperatura superior a temperatura de “auto-ignição” (retardamento físico), absorvendo calor, vaporizando e sofrendo as reações preliminares de oxidação (retardamento químico), provocando o início da combustão.

Como se pode notar, no motor de ignição espontânea, existem dois retardamentos, um físico e um químico, constituindo um retardamento total, durante o qual o combustível vai sendo injetado sem um aumento significativo da pressão e da temperatura na câmara.

Se o retardamento se prolongar mais do que o normal, acumula combustível na câmara e ao ser queimado, provocará um aumento brusco da pressão, causando a detonação.

Nos motores de ignição espontânea a detonação ocorre no início da combustão, enquanto que nos motores de ignição por faísca ocorre no final.

3.4 Combustíveis utilizados:

Os combustíveis utilizados nos ônibus analisados nesse trabalho são o diesel e o biodiesel.

3.4.1 Óleo diesel

O óleo diesel é um combustível de composição complexa, constituído basicamente por hidrocarbonetos parafínicos, olefínicos e aromáticos e, em menor quantidade, por substâncias cuja fórmula química contém átomos de enxofre, nitrogênio, metais, oxigênio, etc. Esses hidrocarbonetos são formados por

moléculas constituídas de 8 a 40 átomos de carbono, normalmente sendo mais pesados do que aqueles que compõem a gasolina (SOUZA, 2005).

É obtido pela destilação fracionada do petróleo e está localizado entre o querosene e os óleos lubrificantes (por razão das suas características) e os elementos que estão presentes na sua composição são: carbono (86,3%), hidrogênio (12,8%) e enxofre (0,9%) (SOUZA, 2005). É um produto inflamável, medianamente tóxico, volátil, límpido, isento de material em suspensão e com odor forte e característico. Desde 1º de janeiro de 2010, o óleo diesel dispõe em sua composição de 5% biodiesel proveniente do óleo de soja (Petrobrás, 2010).

3.4.2 Biodiesel

O biodiesel pode ser definido como sendo um mono-álquil éster de ácidos graxos derivado de fontes renováveis, como óleos vegetais e gorduras animais, obtido através de um processo de transesterificação, no qual ocorre a transformação de triglicerídeos em moléculas menores de ésteres de ácidos graxos (MONYEM *et al*, 2001).

Como combustível o biodiesel possui algumas características que representam vantagem sobre os combustíveis derivados do petróleo, tais como, virtualmente livre de enxofre e de compostos aromáticos; alto número de cetano; maior ponto de fulgor; menor emissão de partículas, HC, CO e CO₂; caráter não tóxico e biodegradável, além de ser proveniente de fontes renováveis (HASS *et al*, 2001).

O biodiesel é obtido através da reação de transesterificação de óleos vegetais, sendo o óleo de soja o mais utilizado (FERRARI *et al*, 2005).

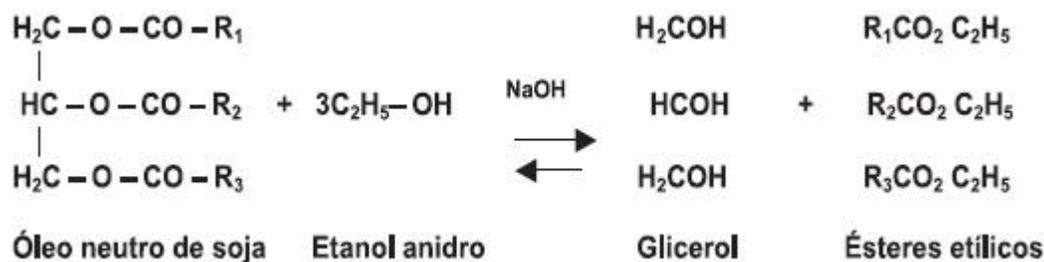


Figura 8. Exemplo de reação de transesterificação de triglicerídeos, onde R₁, R₂ e R₃ representam cadeias carbônicas de ácidos graxos (FERRARI *et al*, 2005).

3.5 Poluição Atmosférica

O termo “poluição atmosférica” significa a degradação da qualidade do ar resultante de atividades que direta ou indiretamente prejudiquem a saúde, a segurança e o bem-estar da população, ou criem condições adversas às atividades sociais e econômicas, ou afetem desfavoravelmente a biota, ou afetem as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente, ou emitam matéria ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos (Lei 6.938/81, Artigo 3º, inciso III).

A poluição do ar tem sido um tema extensivamente pesquisado nas últimas décadas e atualmente caracteriza-se como um fator de grande importância na busca da preservação do meio ambiente e na implementação de um desenvolvimento sustentável (AZUGA, 2000).

O processo de poluição atmosférica inicia-se a partir da emissão de poluentes por fontes que podem ser naturais (como os vulcões), ou antrópicas (como os veículos automotores e as atividades industriais) – poluentes primários. O processo tem continuidade com o transporte dos poluentes pelas massas de ar, para um receptor. Durante esse transporte, dois ou mais poluentes podem provocar reações químicas ou ocorrer combinações físicas, formando os

poluentes secundários, bem como pode ocorrer a grande formação do O_3 troposférico pela radiação ultravioleta, que dependendo das condições atmosféricas, pode ser visualizado pelo "smog" fotoquímico (MARTINS *et al*, 2002). A interação entre as fontes de poluição e a atmosfera vai definir o nível de qualidade do ar, que determina, por sua vez, o surgimento de efeitos adversos da poluição atmosférica sobre os receptores (AZUGA, 2000).

Os veículos automotores são considerados uma das principais fontes de poluição dos grandes centros urbanos. Essas regiões são as que mais sofrem com a poluição atmosférica, pois é onde existem maiores números de veículos circulando em áreas restritas, dificultando a avaliação das emissões, pois os veículos são fontes móveis, que dispersam a poluição a comunidade (KNIGHT *et al*, 2006).

Nos veículos movidos a gasolina as emissões se dividem entre o escapamento, o cárter, o carburador (quando for o caso) e o tanque de combustível, enquanto que nos veículos movidos a Diesel, apesar de possuírem carter, carburador (em alguns casos) e sistema de ignição, elas praticamente se concentram no escapamento, com predominância de material particulado orgânico sob a forma de fumaça devido à alta massa molar dos hidrocarbonetos (DENATRAN, 1980; Souza, 2005).

3.5.1 Principais Poluentes Atmosféricos

3.5.1.1. Óxidos de enxofre (SO_x)

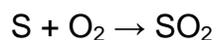
Os óxidos de enxofre são representados pelo símbolo SO_x e expressam a soma de dois óxidos, o trióxido de enxofre (SO_3) e o dióxido de enxofre (SO_2) (ROCHA *et al*, 2008).

Segundo Azuaga (2000) os óxidos de enxofre são gerados devido à queima de combustíveis, tanto no setor industrial, quanto no setor de transportes, principalmente pelos veículos movidos a Diesel.

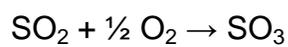
A resolução da ANP nº32 de 2007 limita o teor de enxofre no óleo diesel para utilização em veículos automotores em 50ppm e é comumente chamado de Diesel S50. Segundo Adeato (2010) a partir de 2013 o diesel deverá ter apenas 10ppm de enxofre com o programa de redução.

Os óxidos de enxofre são um dos precursores da chuva ácida conforme as reações abaixo (Medeiros, 2003):

I – Queima do enxofre



II – Transformação do SO_2 em SO_3



III – Reações dos óxidos com água



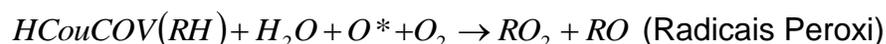
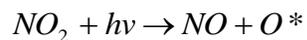
IV – Formação do H_2SO_4 através do H_2O_2



Ao ser lançado na atmosfera, o dióxido de enxofre pode ser transportado durante dias para regiões distantes das fontes primárias de emissão, o que aumenta sua área de atuação causando poluição regional (CANÇADO *et al*, 2006).

As reações apresentadas a seguir mostram, de forma resumida, o que ocorre na atmosfera (CARVALHO *et al*, 2004).

$NO + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow NO_2$ (A molécula de ozônio ao invés da molécula de oxigênio molecular)

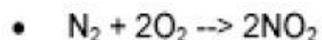


Os óxidos de nitrogênio são altamente tóxicos em grandes concentrações, o dióxido de nitrogênio, quando inalado, atinge as porções mais periféricas do pulmão devido à sua baixa solubilidade em água. O fato de ele ser uma agente oxidante é causador de seu efeito tóxico (CANÇADO *et al*, 2006). Pessoas predispostas, por causa da idade, da hereditariedade ou que já sofram de doenças respiratórias, são mais sensíveis às exposições dos NO_x . Além de irritar as mucosas, provoca uma espécie de enfizema pulmonar, pois o NO_x pode se transformar em nitrosaminas, nos pulmões, sendo algumas delas consideradas cancerígenas. Devido à sua baixa solubilidade, é capaz de penetrar profundamente no sistema respiratório (DENATRAN, 1980).

Os óxidos de nitrogênio também auxiliam na formação da chuva ácida, conforme descrevem as reações (MEDEIROS, 2003).

I - Reação entre N_2 e O_2 durante a combustão

(devido à temperatura elevada):



II - Reação do óxido com água:

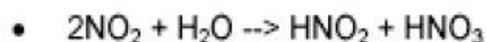


Figura 10. Formação da chuva ácida a partir dos óxidos de nitrogênio (Medeiros, 2003).

3.5.1.3. Óxidos de carbono

Os óxidos de carbono são a soma do monóxido de carbono (CO) e do dióxido de carbono (CO₂).

Aproximadamente 60% do CO presente na troposfera se origina das atividades humanas pelos processos de combustão incompleta de materiais carbonáceos orgânicos como carbono, madeira, papel, óleo, gás, gasolina, entre outros (LACERDA *et al*, 2005).

As principais fontes emissoras dos óxidos de carbono são os veículos automotivos, aquecedores a óleo, queima de tabaco, churrasqueiras e fogões a gás. O monóxido de carbono apresenta afinidade pela hemoglobina 240 vezes maior que a do oxigênio, o que faz com que uma pequena quantidade de monóxido de carbono possa saturar uma grande quantidade de moléculas de hemoglobina causando asfixia no ser humano (CANÇADO *et al*, 2006; SIBONOLANO *et al*, 2007).

Os estudos consagrados à exposição humana demonstram que o gás do escapamento dos veículos à combustão é a fonte mais freqüente de altas concentrações de CO. Eles mostram em particular que no interior de um veículo a concentração média de CO se situa entre 9 a 25ppm, considerada alta para o ser humano (LACERDA *et al*, 2005).

Naturalmente, o dióxido de carbono é um gás exalado por muitos organismos vivos durante o seu metabolismo. O dióxido de carbono, juntamente com outros gases da atmosfera, aprisiona parcialmente parte da radiação do sol que é emitida pela Terra na forma de radiação infravermelha. Esse fenômeno é denominado efeito estufa. Com o aumento da quantidade de dióxido de carbono liberado para a atmosfera, esse gás se tornou o grande vilão do efeito estufa. Como o tempo médio de residência do CO₂ na atmosfera é de cerca de cem anos, a estabilização

ou mesmo a diminuição do teor atmosférico desse gás requer diminuição significativa em sua emissão (Santana, 2008).

3.5.1.4. Material particulado

Sob a denominação geral de Material Particulado, se encontra um conjunto de poluentes constituídos de poeiras, fumaças e todo tipo de material sólido e líquido que se mantém suspenso na atmosfera. As principais fontes de emissão de particulado para a atmosfera são: veículos automotores, processos industriais, queima de biomassa, ressuspensão de poeira do solo, entre outros. O material particulado pode também se formar na atmosfera a partir de gases como dióxido de enxofre (SO_2), óxidos de nitrogênio (NO_x) e compostos orgânicos voláteis (COVs), que são emitidos principalmente em atividades de combustão, transformando-se em partículas. (CETESB, 2010).

A formação do material particulado gerado na combustão do diesel é bastante complexa e envolve uma seqüência de etapas reacionais (pirólise, nucleação, crescimento e coagulação, agregação e oxidação). Além disso, depende de vários fatores, como tipo de motor, condições de operação e composição do combustível (MENEZES *et al*, 2008).

O material particulado forma-se em altas temperaturas em regiões ou zonas da câmara de combustão rica em combustível. Nessas regiões, a reação de oxidação é limitada pela concentração de oxigênio, cujo transporte ocorre por difusão através da chama (BRAUM *et al*, 2003).

A pirólise é um processo no qual as moléculas de combustível em fase gasosa formam as moléculas precursoras do particulado via radicais livres. A nucleação é um processo no qual as moléculas precursoras do material particulado crescem em pequenos núcleos. O crescimento é um processo no qual as moléculas precursoras, de tamanho inicial entre 1 a 2 nm, aumentam para diâmetros na faixa de 10 a 30 nm. A agregação e a coagulação com formação de

cadeias explicam a formação das estruturas tipo fractais do material particulado (BRAUM *et al*, 2003).

O material particulado pode ser classificado como:

Partículas Totais em Suspensão (PTS): Podem ser definidas de maneira simplificada como aquelas cujo diâmetro aerodinâmico é menor que 50 μm . Uma parte destas partículas é inalável e pode causar problemas à saúde, outra parte pode afetar desfavoravelmente a qualidade de vida da população, interferindo nas condições estéticas do ambiente e prejudicando as atividades normais da comunidade (CETESB, 2010).

Partículas Inaláveis (MP₁₀): Podem ser definidas de maneira simplificada como aquelas cujo diâmetro aerodinâmico é menor que 10 μm . As partículas inaláveis podem ainda ser classificadas como partículas inaláveis finas – MP_{2,5} (<2,5 μm) e partículas inaláveis grossas (2,5 a 10 μm). As partículas finas, devido ao seu tamanho diminuto, podem atingir os alvéolos pulmonares, impedindo principalmente as trocas gasosas, já as grossas ficam retidas na parte superior do sistema respiratório, ocasionando stress físico nas vias respiratórias superiores, o qual pode resultar em outras patologias, inclusive câncer. Dependendo do poluente agregado a partícula, esta pode ser muito prejudicial a saúde (CETESB, 2010).

Fumaça (FMC): Está associada ao material particulado suspenso na atmosfera proveniente dos processos de combustão. O método de determinação da fumaça é baseado na medida de refletância da luz que incide na poeira (coletada em um filtro), o que confere a este parâmetro a característica de estar diretamente relacionado ao teor de fuligem na atmosfera, sendo que em veículo a diesel que possui sistema eletrônico, o teor de fumaça emitido é menor (CETESB, 2010).

A operação em condições oxidantes das máquinas diesel, que contribui para uma boa economia de combustível, resulta, comparativamente com motores à gasolina, em menor produção de CO₂, num processo de combustão operando em temperaturas mais baixas, com formação e, conseqüentemente, emissão, de menor quantidade de NO_x, CO e hidrocarbonetos (HC). Entretanto, esse processo

também resulta em elevados níveis de emissão de material particulado (MP) e de compostos responsáveis pelo odor característico da emissão diesel, devido a emissão de hidrocarbonetos de alta massa molar, sendo a emissão desses últimos altamente crítica durante condições de operação em baixo nível de temperatura. (BRAUM *et al*, 2003).

3.5.2 Legislação referente à poluição atmosférica

A necessidade de criar um programa nacional que contemplasse as emissões atmosféricas de origem veicular começou a tomar corpo no início dos anos oitenta, a partir da constatação de que a grave poluição ambiental verificada nos grandes centros urbanos era causada predominantemente pelos poluentes atmosféricos gerados na queima de combustíveis em veículos automotores (AZUGA, 2000).

A resolução CONAMA nº18 de 6 de maio de 1986 institui em caráter nacional o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores. De acordo com as metas do PROCONVE, os órgãos estaduais de controle ambiental deveriam implantar, a partir de 1997, os programas de Inspeção e Manutenção de Veículos em Uso. Este programa tem o objetivo de reduzir as emissões dos poluentes, através da verificação da eficiência dos sistemas de controle de emissões veiculares, uma vez que os equipamentos se deterioram ao longo do tempo, ou seja, os programas de Inspeção e Manutenção (I/M) visam manter as emissões aprovadas no licenciamento do veículo, dentro dos padrões ambientais estabelecidos.

No Brasil, a Resolução CONAMA 05/89 considera a necessidade de adoção de padrões nacionais de qualidade do ar como ação complementar e referencial aos limites máximos de emissão estabelecidos. Considera, portanto, os padrões de qualidade do ar como instrumentos de apoio e operacionalização do PRONAR (CONAMA, 1989).

A resolução CONAMA 03/90 regulamentou, no Brasil, os padrões de qualidade do ar para os seguintes parâmetros: partículas totais em suspensão, fumaças, partículas inaláveis, dióxido de enxofre, monóxido de carbono, ozônio e dióxido de nitrogênio (CONAMA, 1990).

Para que se tenha um controle da poluição e inspeção veicular o Conama nº 418, de 25 de novembro de 2009, dispõe sobre critérios para a elaboração de Planos de Controle de Poluição Veicular (PCPV) e para a implantação de Programas de Inspeção e Manutenção de Veículos em Uso - I/M - pelos órgãos estaduais e municipais de meio ambiente e determina novos limites de emissão e procedimentos para a avaliação do estado de manutenção de veículos (leves, pesados e motocicletas) que estejam em uso. O artigo 16 dessa resolução diz que a periodicidade da inspeção veicular ambiental deverá ser feita anualmente. As empresas que possuem frotas de uso intenso, as ações deverão ser intensificadas para adoção do Programa Interno de Automonitoramento da Correta Manutenção da Frota, conforme diretrizes estabelecidas pelo IBAMA, bem como aquelas voltadas a implementação de programas estaduais para a melhoria da manutenção de veículos diesel e a programas empresariais voluntários de inspeção e manutenção.

As formas de medição descritas pelo Conama 418 são executadas com o veículo parado em rotação mínima, na faixa de 600 a 1200 rpm com tolerância de ± 100 rpm, e máxima de 2500 rpm com tolerância ± 200 rpm. Metodologia semelhante a adotada neste trabalho. Segundo essa mesma resolução, quando se trata de veículos a Diesel, não são feitas análises de gases e sim o teste de opacidade.

4 METODOLOGIA

4.1 Levantamento dos dados

Os ônibus que foram analisados (Figura 11) são da permissionária Auto Viação Redentor LTDA, logo após o seu retorno de itinerário matutino, para que motor do veículo ainda estivesse aquecido. Foram selecionados 10 ônibus numa frota total de 360 e a escolha desses veículos dependeu da logística da empresa.



Figura 11. Fotografia de alguns ônibus analisados.

Foi feito o levantamento da marca, modelo, potência, ano, prefixo, categoria e combustível de cada ônibus. Esses dados foram obtidos a partir do Certificado de Cadastro e Inspeção e do Certificado de Registro e Licenciamento de Veículo encontrados no interior do veículo (Figura 12). O valor da quilometragem foi obtido no painel do veículo. A informação do tipo de injeção foi dada pelo motorista dos ônibus. Na documentação do veículo que utiliza o biodiesel consta apenas “DIESEL” como combustível, no entanto há várias identificações ao longo do ônibus informando que este opera com o biocombustível (Figura 13).



Figura 12. Exemplo de Certificado de Cadastro e Inspeção e Certificado de Registro e Licenciamento de Veículo.



Figura 13. Identificações da utilização de biodiesel pelo veículo.

Os dados coletados estão dispostos na tabela 1, e foram ordenados conforme o tipo de combustível, ano, sistema de injeção e potência de cada um dos ônibus.

Tabela 1: Dados dos ônibus analisados.

	Marca	Modelo	Potência (cv)	Ano	Quilometragem (km)	Prefixo	Categoria	Combustível	Sistema de injeção	Rotação Mínima (rpm)	Rotação Média (rpm)	Rotação Máxima (rpm)
1	Volvo	B12M	340	2011	40224,4	HE 702	Biarticulado	Biodiesel	Eletrônica	650	1300	2000
2	Mercedes-Benz	OF1722M/59	218	2009	316174	HA288	Alimentador	Diesel	Eletrônica	800	1100	1600
3	Scania	K94IB8X22WB	310	2008	109390	HR037	Articulado	Diesel	Eletrônica	500	1300	2000
4	Volvo	B12M	340	2006	358072	HE699	Biarticulado	Diesel	Eletrônica	600	1100	1800
5	Scania	K94	230	2006	449566	HL 106	Ligeirinho	Diesel	Eletrônica	500	1300	2200
6	Volvo	B10M EOC	285	2000	384278	HR402	Articulado	Diesel	Eletrônica	500	1300	2300
7	Volkswagen	1727OD	206	2002	518143	HA927	Alimentador	Diesel	Mecânica	700	1500	2200
8	Mercedes-Benz	OF1721	211	2000	890892	HA213	Alimentador	Diesel	Mecânica	700	1500	2100
9	Volvo	B58	286	1997	807249	HD225	Biarticulado	Diesel	Mecânica	600	1300	1800
10	Volvo	B58	245	1997	837277	HL067	Ligeirinho	Diesel	Mecânica	500	1300	

4.2 Medição dos gases

Utilizando o Analisador de Gases de Combustão ECIL Ecoline 6000 (Figura 14), gentilmente cedido pelo Departamento Acadêmico de Química e Biologia (DAQBI) da UTFPR, foram analisados 6 tipos de gases do escapamento dos ônibus: SO₂, NO, NO₂, CO, CO₂ e O₂ excedente, que não são verificados nas inspeções de rotina de fiscalização na URBS.



Figura 14. Foto do analisador de Gases de Combustão Ecil Ecoline 6000.

Para a coleta dos dados foi colocada a sonda do equipamento diretamente no interior do escapamento (encontrado na lateral ou na parte traseira do veículo) numa posição perpendicular ao fluxo de saída dos gases e realizadas as leituras das emissões (Figura 15). Quando possível, dependendo do diâmetro do escapamento, foi utilizado um tubo flexível de sistema sanduíche composto de alumínio, papel kraft e alumínio (APA), apenas com a finalidade de fixar a sonda ao escapamento.



Figura 15. Medição dos gases pela sonda do equipamento diretamente no escapamento dos veículos e utilizando o tubo APA.

As leituras dos gases foram realizadas em um único dia, em triplicata, com os veículos parados e coletados os dados em 3 diferentes rotações: mínima (600 rpm em média, oscilando de 500 a 800 rpm), média (1300 rpm em média, oscilando de 1100 a 1500 rpm) e máxima (2000 rpm em média, oscilando de 1600 a 2300 rpm). Cada veículo atinge um diferente valor de rotação máxima quando parado, por isso há grande variação nas rotações.

Os resultados das análises foram impressos automaticamente pelo Analisador de Gases, obtendo os resultados de todos os gases simultaneamente para cada rotação medida. No entanto, os resultados da rotação média e máxima do ônibus 6 e das rotações mínima, média e máxima do veículo 7 foram registrados manualmente.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Emissão de O₂

O excedente de O₂ que não participa da combustão do óleo diesel, ou do biocombustível, é emitido ao ambiente através do escapamento. O gráfico 2, obtido através dos resultados expressos no anexo 1, representa, em percentual, o quanto de oxigênio que saiu do escapamento de cada ônibus.

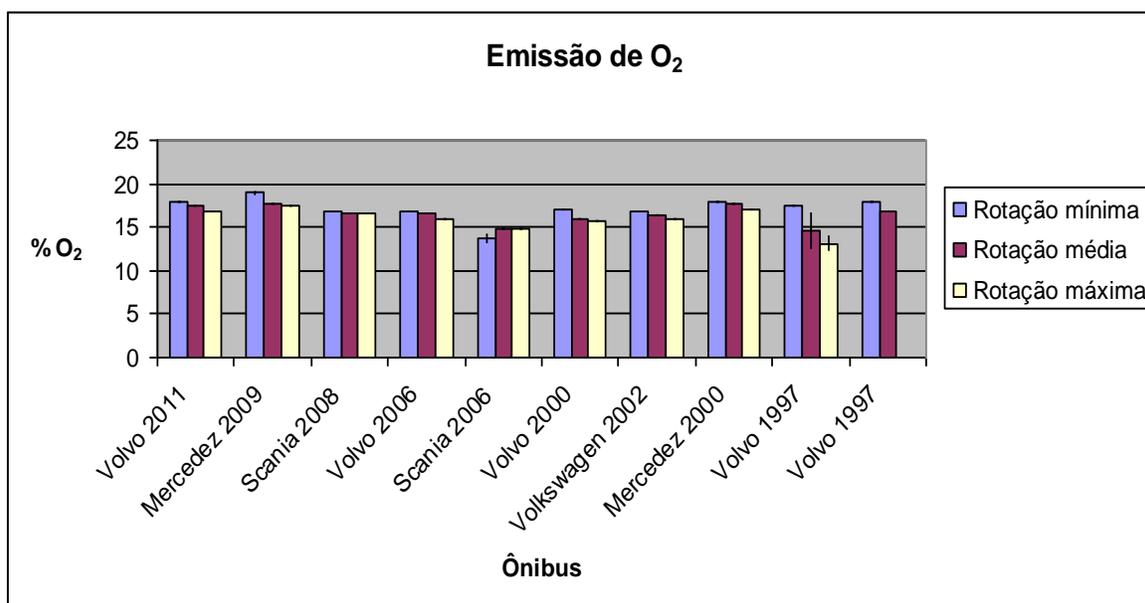


Gráfico 2: Emissão de O₂

Percebe-se que, independente do tipo de combustível utilizado, idade dos veículos e sistema de ignição, a emissão de O₂ tem pouca variação. No entanto pode-se observar que há uma tendência de menor emissão do gás conforme se aumenta a rotação do veículo, ou seja, aumenta o consumo de O₂. Os ônibus da marca Scania não seguiram essa tendência, sendo que o modelo 2008 praticamente não varia a emissão de O₂.

Os veículos da marca Volvo de modelos B12M, apresentaram comportamento semelhante no consumo de O_2 , demonstrando que a eficiência da reação de combustão não depende do tipo de combustível, já que o modelo de 2011 opera com biodiesel e o modelo 2006 com diesel comum.

5.2 Emissão de CO_2

O Gráfico 3, obtido através dos resultados expressos no Anexo 2, mostra as emissões, em percentual, de cada ônibus nas diferentes rotações analisadas.

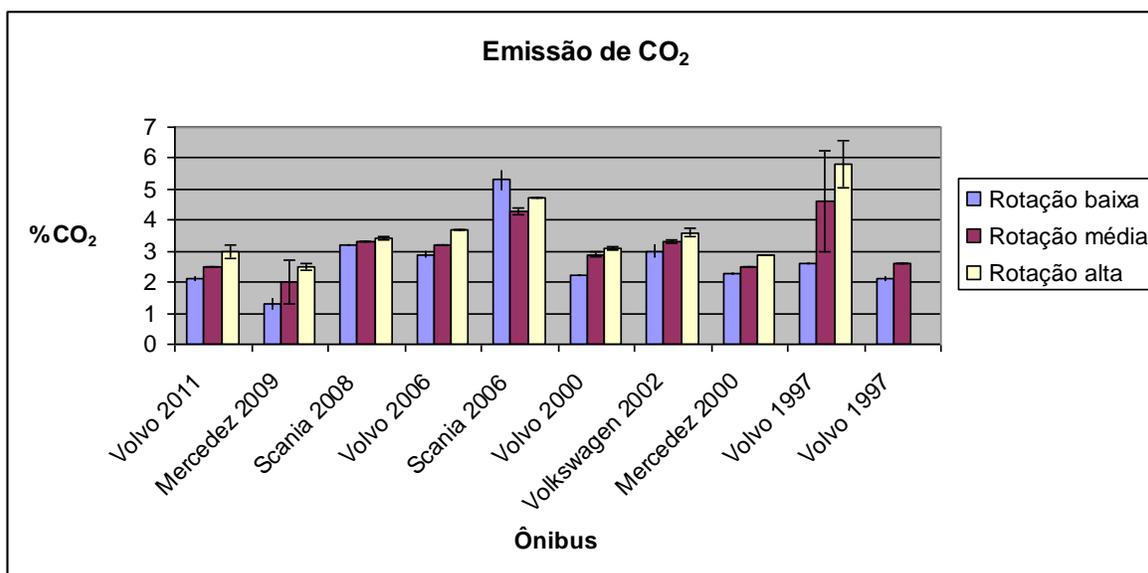


Gráfico 3: Emissão de CO_2

O ônibus da Volvo de 1997 (prefixo HD225) apresentou, nas rotações de 600 rpm, 1300 rpm e 1800 rpm, os valores de emissão de CO_2 de 2,6%, 4,6% e 5,8% respectivamente. Este valor de 5,8% na rotação máxima foi o maior valor encontrado para esse parâmetro, demonstrando que apesar de ter sistema de ignição mecânica e idade avançada, apresentou uma eficiência na combustão. O ônibus da Scania de 2006 também apresentou valores superiores aos demais nas rotações de 500 rpm, 1300 rpm e 2200 rpm, sendo a emissão de CO_2 de 5,3%, 4,3% e 4,7% respectivamente, mas devido à alta emissão de CO_2 em baixa rotação, suspeita-se de alguma disfunção mecânica.

Percebe-se que, ao contrário da emissão de O₂, todos os ônibus apresentam uma tendência de aumentar a emissão do CO₂ conforme se aumenta a rotação do veículo, demonstrando uma combustão eficiente. Os ônibus da marca Scania de 2006 mostra um comportamento diferente aos demais e o modelo 2008 quase não apresentam diferença nas emissões.

5.3 Emissão de CO

O gráfico 4, obtido através dos resultados expressos no anexo 3, mostra as emissões, em ppm, de cada ônibus nas diferentes rotações analisadas.

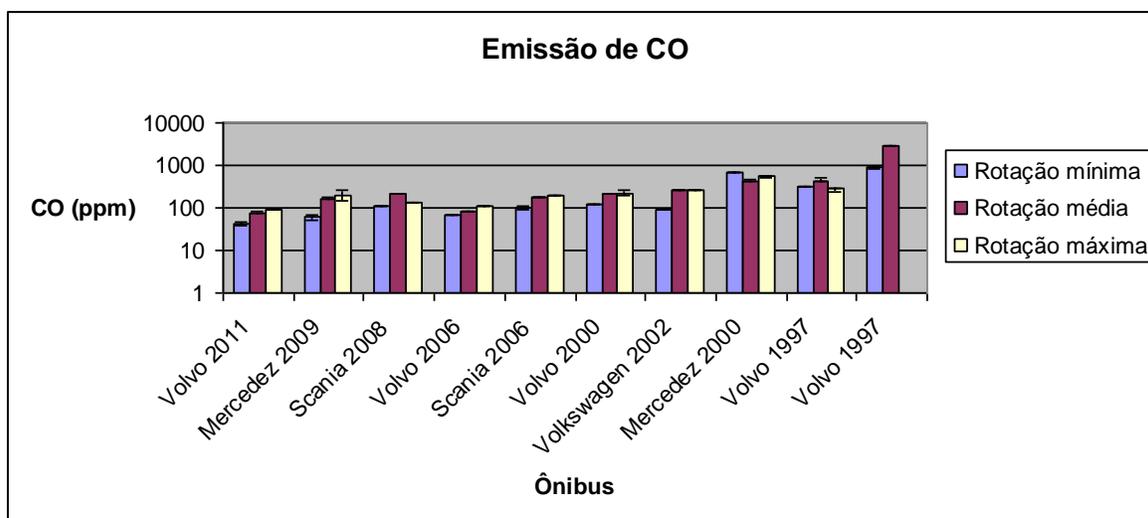


Gráfico 4: Emissão de CO.

A partir deste gráfico pode-se perceber que os ônibus de ignição mecânica (Volkswagen de 2002, Mercedes de 2000 e os dois modelos da Volvo de 1997) apresentam valores de emissão de CO superiores aos eletrônicos (Volvo de 2011, Mercedes de 2009, Scania 2008, Volvo de 2006, Scania de 2006 e Volvo de 2000). O Volvo de 1997 (prefixo HL067) apresentou nas rotações de 500 rpm e 1300 rpm os valores de emissão de CO de 875 ppm e 3000 ppm, respectivamente. Tais valores são excessivamente altos, o que comprova um

problema mecânico, tanto que não foi possível efetuar mais medições na média rotação e nenhuma na máxima rotação para não danificar o aparelho de análise. Segundo um funcionário da Redentor, o veículo já havia sido reprovado no teste de fumaça que a URBS realiza e estava no pátio da permissionária para manutenção.

Percebe-se, assim, que os ônibus apresentam uma tendência de aumentar a emissão do CO, conforme aumenta a rotação do veículo, mas os veículos de motor Scania de 2008, Mercedes-Benz de 2000 e o Volvo de 1997 (prefixo HD225) foram exceções a esse comportamento.

O veículo Volvo de 2011 movido a biodiesel apresentou uma menor emissão de gás que o Volvo de 2006 de mesmo modelo movido a diesel, mostrando uma eficiência melhor do biodiesel em relação ao diesel, aliado ao fato das idades dos veículos

5.4 Comparação entre as emissões de O₂, CO₂ e CO

Comparando as emissões de O₂, CO₂ e CO perceber-se que, em linhas gerais, há um consumo maior de combustível nas rotações maiores dos veículos, pois há uma menor emissão de O₂, consumido durante a reação de combustão juntamente com o combustível, e maior emissão de CO₂ e CO, produtos da combustão completa e incompleta, respectivamente.

O ônibus Scania de 2006 apresentou a menor emissão de O₂ e a maior emissão de CO₂ em baixa rotação o que indica que este ônibus está tendo um maior consumo de diesel nesta rotação. Este veículo, como já foi visto anteriormente, foi o que apresentou valores muito elevados de emissão de CO₂, apresentando uma eficiência na reação de combustão, mas ao verificarmos as emissões de CO, os valores apresentados são um pouco elevados em relação ao Volvo de 2006, esse sendo dois anos mais velhos e 30 cv mais potentes, podendo estar ocorrendo maior consumo de combustível. Havia uma suspeita de problemas

mecânicos nesse ônibus informados pelos funcionários da empresa, podendo ser esse a causa do comportamento desses resultados.

O Volvo de 1997 (prefixo HL067), apresentou um consumo de O_2 semelhante aos demais, mas uma baixa emissão de CO_2 , porém obtivemos elevada emissão de CO, comprovando uma baixa eficiência na reação de combustão, como já foi citado anteriormente, já era conhecido que o veículo estava com problemas.

5.5 Emissão de NO

O gráfico 5, obtidos com os resultados expressos do anexo 4, representa os valores obtidos referentes a emissão de NO em ppm.

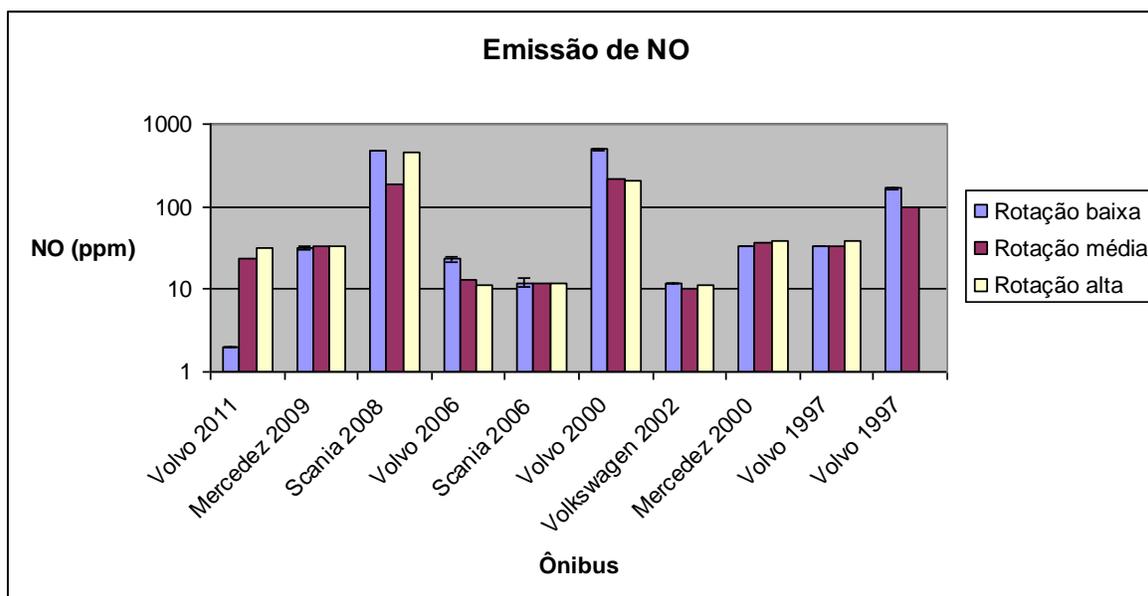


Gráfico 5. Emissão de NO.

As emissões de NO não se comportaram de forma coerente, para que se pudesse ter um comparativo entre veículos com diferentes sistemas de injeção. Os ônibus Scania de 2008, Volvo de 2000 e Volvo de 1997 (prefixo HL067) apresentaram valores altos em relação aos demais, isso se deve a uma suspeita

de problemas mecânicos, que os funcionários da Redentor haviam relatado. A reprovação do teste de fumaça feito pela URBS no ônibus Volvo de 1997 (prefixo HL067) e a elevada emissão de CO, nos comprova essa disfunção mecânica. No caso do Scania de 2008, o alto consumo de O₂, e as elevadas emissões de CO₂ e CO, agora aliado a emissão de NO aumenta a suspeita de problemas mecânicos e um provável consumo elevado de combustível.

Os veículos Mercedes-Benz de 2009, Mercedes-Benz de 2000, Volvo de 1997 (prefixo HD225), Scania de 2006 e Volkswagen de 2002 praticamente não sofreram alterações enquanto se variavam as rotações, comportando-se de maneira uniforme. Enquanto o Volvo de 2011 movido a biodiesel teve um aumento gradativo quando aumentava-se a rotação.

5.6 Emissão de NO₂

Os resultados comparativos de emissão de NO₂ estão no anexo 5, e foram representados no gráfico 6.

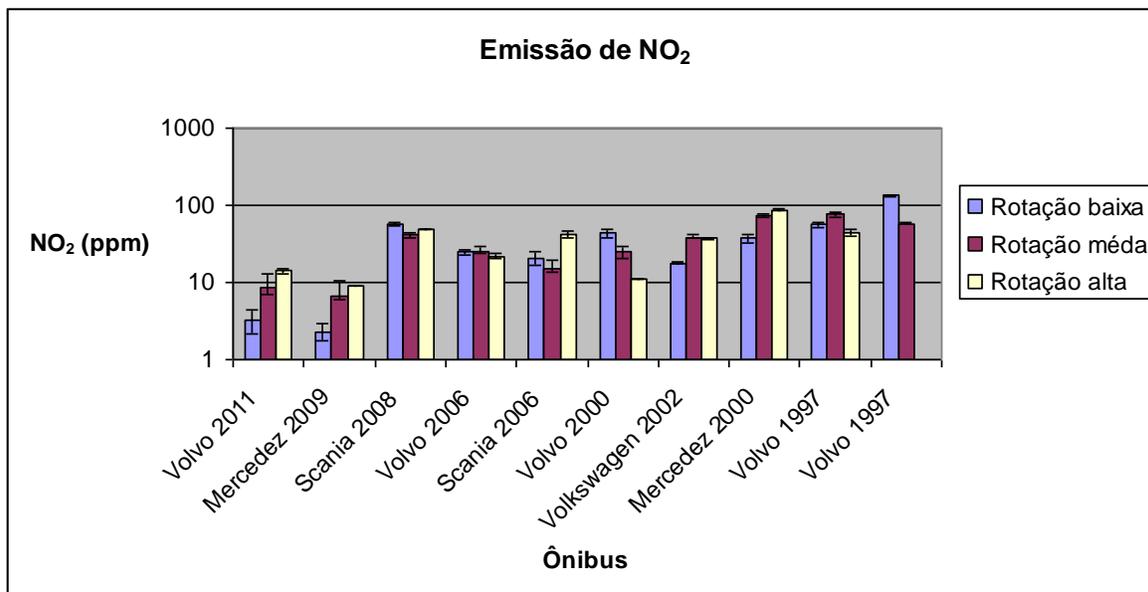


Gráfico 6: Emissão de NO₂

Assim como na emissão de NO, para o NO₂ não foi possível estabelecer um grau de comparação entre os sistemas de injeção.

O Volvo de 2011 apresentou emissão de NO₂ menor em relação ao Volvo de 2006, sendo que neste último a variação de rotação não interferiu na concentração do poluente. Essa diferença de valores se dá principalmente na vantagem ambiental que o biodiesel tem em relação ao diesel.

5.7 Comparativo entre as emissões de NO e NO₂.

Analisando e comparando as emissões de NO e NO₂, nota-se que o sistema de ignição não interfere na emissão desses gases, pois os resultados foram semelhantes seja eletrônico ou mecânico o sistema. Devido a suspeita de problemas mecânicos as emissões de NO estiveram altas nos ônibus Volvo de 2000, Volvo de 1997 (prefixo HL067) e Scania de 2008 citados anteriormente.

5.8 Emissão de SO₂.

Não foi possível a análise das emissões de SO₂, pois a concentração foi muito baixa, não atingindo o limite de detecção do aparelho. Devido o fato de não termos os valores do limite de detecção, não podemos analisar melhor esse parâmetro.

5.9 Considerações finais

Os testes apresentados foram satisfatórios, mas existe a necessidade de mais análises, para aperfeiçoar a metodologia, caso seja necessário e comparar com os resultados obtidos neste trabalho.

De um modo geral as emissões gasosas dos ônibus com sistema de injeção eletrônica foram menores que os ônibus com sistema de injeção mecânica. As exceções ficaram com os ônibus com suspeita ou comprovações de disfunção mecânica.

Conforme o esperado, quando se aumentava a rotação do motor aumentava a emissão dos gases, fruto do aumento da reação de combustão ocorrida no motor e também aumentava o consumo de O_2 .

Como a composição da frota de ônibus de outras empresas de Curitiba são semelhantes a que a Redentor tem, a expectativa de que o comportamento das emissões que os demais ônibus da frota de Curitiba sejam parecidos., Com isso poderemos adequar em conjunto esse tipo de análise com o teste de opacidade que já é realizado pela URBS.

6 CONCLUSÃO

O trabalho buscou realizar os testes de emissão de diferentes gases que saem do escapamento dos ônibus, devido ao fato de não ter nenhum estudo a respeito sobre emissão veicular com análise em campo dos ônibus que compõem a frota do transporte coletivo de Curitiba, já que a URBS realiza apenas o teste de opacidade.

As emissões se comportaram diferentemente para cada tipo de gás analisado, devido a característica de formação individual de cada um deles.

A evolução entre os sistemas de injeção, passando da mecânica para a eletrônica, comprova uma melhor eficiência dos motores pela diminuição de emissão tanto de CO₂, que colabora com o aumento do efeito estufa, quanto de CO poluente altamente tóxico para o ser humano, bem como uma melhor eficiência da combustão com uma maior relação CO₂/CO.

Através dessas análises podem-se perceber quais ônibus apresentavam disfunção mecânica, para que fosse realizada a devida manutenção.

A análise da emissão em ônibus movidos a biodiesel requer mais estudos e monitoramento, pois foi implantado recentemente no sistema de transporte coletivo da cidade, mas pode-se comprovar que existe uma diminuição muito grande de gases em relação a um veículo movido a diesel comum.

REFERÊNCIAS

ABRANTES, Rui de. **Caracterização preliminar das emissões de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos e aldeídos de veículos do ciclo diesel.** 2002. Dissertação – Faculdade de Saúde Pública, USP, São Paulo, 2002.

ADEODATO, Sergio. **Diesel mais limpo chega em 2013.** Biodieselbr online 16 de agosto de 2010. Disponível em: < <http://www.biodieselbr.com/noticias/em-foco/diesel-mais-limpo-2013-160810.htm>>. Acesso em 13 de setembro de 2011

AZUAGA, Denise. **Danos ambientais causados por veículos leves no Brasil.** Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação de Engenharia, UFRJ, Rio de Janeiro, 2000.

BAGLEY, S. T.; GRATZ, L. D.; JOHNSON, J. H.; McDONALD, J. F.; **Environ. Sci.Technol.** 1998, 32, 1183.

BOSCH, R. **Manual de Tecnologia Automotiva.** São Paulo, 2005.

BRAUM, Silvana; APPEL, Lucia Gorenstin; SCHMAL, Martin. **A poluição gerada por máquinas de combustão interna movidas à diesel – A questão dos particulados. Estratégias atuais para a redução e controle das emissões e tendências futuras.** Quím. Nova, vol.27, n.3, pp. 472-482, 2003.

CANÇADO, José E. D.; BRAGA, Alfesio; PEREIRA, Luiz A. A.; ARBEX, Marcos A.; SALDIVA, Paulo H. N.; SANTOS U. de P. **Repercussões clínicas da exposição à poluição atmosférica.** São Paulo – SP. Jornal Brasileiro de Pneumologia, vol. 32, 2006.

CARVALHO, V. S. B.; CAVALCANTI, P. M. P. S. **Formação de ozônio troposférico na região de Macaé.** In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, XIII, 2004, Fortaleza. Anais do XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Fortaleza, 2004.

CETESB. Disponível em <<http://www.cetesb.sp.gov.br>>. Acesso em 14 de setembro de 2011.

Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Dispõe sobre a criação do Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores – PROCONVE.** RESOLUÇÃO CONAMA Nº 18, de 6 de maio de 1986

_____ **Dispõe sobre o Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar – PRONAR.** RESOLUÇÃO CONAMA Nº 5, de 15 de junho de 1989.

_____ **Dispõe sobre os Padrões de Qualidade do Ar.** RESOLUÇÃO CONAMA Nº 03, de 28 de junho de 1990.

_____ **Dispõe sobre critérios para a elaboração de Planos de Controle de Poluição Veicular - PCPV e para a implantação de Programas de Inspeção e Manutenção de Veículos em Uso - I/M pelos órgãos estaduais e municipais de meio ambiente e determina novos limites de emissão e procedimentos para a avaliação do estado de manutenção de veículos em uso.** RESOLUÇÃO CONAMA Nº. 418, DE 25 DE NOVEMBRO DE 2009

DENATRAN – DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO, 1980, **Tráfego e Meio Ambiente.** COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.

FERRARI, Roseli Aparecida; OLIVEIRA, Vanessa da Silva; SCABIO, Ardalla
BIODIESEL DE SOJA – TAXA DE CONVERSÃO EM ÉSTERES ETÍLICOS, CARACTERIZAÇÃO FÍSICOQUÍMICA E CONSUMO EM GERADOR DE ENERGIA. Quimica. Nova, Vol. 28, No. 1, 19-23, 2005.

FREITAS, Clarice; BREMMER, Stephen A; GOUVEIA, Nelson; PEREIRA, Luiz A A; SALDIVA, Paulo H. N. **Internações e órbitos e sua relação com a poluição atmosférica em São Paulo, 1993 a 1997.** Revista de Saúde Pública, v. 38, n. 6, p. 751-57, 2004.

GARCIA, Roberto. **Combustíveis e combustão industrial.** Rio de Janeiro, 2002.

Geração, Distribuição e Utilização de Vapor Profº Waldir A. Bizzo, 2005

Disponível em <http://www.fem.unicamp.br/~em672/GERVAP1.pdf>. Acesso em 08 de dezembro de 2011.

GODOI, Ana Flavia Locateli; GODOI, Ricardo Henrique Moreton; AZEVEDO, Roosevelt de; MARANHO, Leila Teresinha. **Poluição e a densidade de vegetação: BTEX em algumas áreas públicas de Curitiba - PR, Brasil.** Quím. Nova. 2010, vol.33, n.4, pp. 827-833, 2010.

GONÇALVES, F. L. T.; CARVALHO, L. M. V.; CONDE, F.C; LATORRE, M. R. D. O; SALDIVA, P. H. N.; BRAGA, A. L. F. **The effects of air pollution and meteorological parameters on respiratory morbidity during the summer in São Paulo city.** Environment International, v. 31, n. 3, p. 343-349, 2005.

HAAS, M. J.; SCOTT, K. M.; ALLEMAN, T. L.; McCORMICK, R. L.; **Energy Fuels** 2001, 15, 1207.

IBGE. Disponível em http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa2009/POP2009_DOU.pdf. Acesso em 20 de agosto de 2010.

KNIGHT, Vivian M.; YOUNG, Carlos E. F. **Custo da poluição gerada pelos ônibus urbanos da RMSP**. 2006

LACERDA, Adriana; LEROUX, Tony; MORATA, Thais. **Efeitos tóxicos da exposição ao monóxido de carbono: uma revisão**. Pró-Fono Revista de Atualização Científica, v. 17, n. 3, set.-dez. 2005.

Lei 6.938/81. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências.

LIN, C. A.; PEREIRA, L. A. A.; NISHIOKA, D. C.; CONCEIÇÃO, G.M.S.; BRAGA, A. L. F.; SALDIVA, P. H. N. **Air pollution and neonatal deaths in São Paulo, Brazil**. Brazilian Journal of Medical and Biological Research, v. 37, p. 765-70, 2004.

MARTINS, L. C.; LATORRE, M. R.; SALDIVA P.H.; BRAGA, A. L. **Air pollution and emergency room visits due to chronic lower respiratory diseases in the elderly: An ecological time series study in São Paulo, Brazil**. Journal of Occupational and Environmental Medicine, v. 44, p. 622-627, 2002.

MARTINS, Cláudia Rocha; ANDRADE, Jailson Bittencourt de. **Química atmosférica do enxofre (IV): emissões, reações em fase aquosa e impacto ambiental**. Quím. Nova, vol.25, n.2, pp. 259-272, 2002.

MEDEIROS, A .M. **Diretrizes para a Incorporação da Variável Ambiental no Planejamento da Expansão Termelétrica a Gás Natural no Brasil.** Tese de M.Sc., COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2003.

MENEZES, Eliana Weber de; CATALUÑA, Renato. **Amostragem do material particulado e fração orgânica volátil das emissões em motor ciclo diesel sem a utilização de túnel de diluição.** Quím. Nova, vol.31, n.8, pp. 2027-2030, 2008.

MONYEM, A.; VAN GERPEN, J. H.; **Biomass & Bioenergy** 2001, 20, 317.

OLIVEIRA JR, Durval Piza de. **Motores de combustão interna.** 2004. Disponível em http://www.scooterclube.com.br/download/motores_de_combustao_interna.pdf. Acesso em 8 de dezembro de 2011.

PETERSON, C. L.; COOK, J. L.; THOMPSON, J. C.; TABERSKI, J. S.; **Appl. Eng.Agric.** 2002, 18, 5.

PIAN, Lucas Bischof; SCHIRMER, Waldir Nagel; BALBINOT, Rafaelo; DANCZUK, Marins. **Determinação da linha de base e adicionalidade de um projeto de MDL a partir da emissão de poluentes utilizando diferentes combustíveis.** Estudos Tecnológicos - Vol. 5, nº 3:270-283 (set/dez. 2009).

Relatório da Qualidade do Ar na Região Metropolitana de Curitiba; Instituto Ambiental do Paraná Ano de 2008.

ROCHA, Clarissa Fleury; GNOATTO, Victor Eduardo. **Purificação de óleos vegetais e quantificação dos gases liberados na queima destes óleos em motores à diesel adaptados.** Curitiba – PR: Trabalho de conclusão de curso, Tecnologia em Química Ambiental, UTFPR, 2008.

SANTANA, Genilson Pereira. **Dióxido de Carbono**. Dezembro, 2008. Disponível em http://www.cq.ufam.edu.br/moleculas/dioxido_carbono/dioxido_carbono.html. Acesso em 14 de setembro de 2011.

SIBON OLANO, A.; MARTINEZ-GARCIA, P.; VIZCAYA ROJAS, MA. y ROMERO PALANCO, JL.. **Intoxicación por Monóxido de Carbono**. Cuad. med. forense 2007, n.47, pp. 65-69 .

SILVA, Moacir Ferreira. **Emissão de Metais por veículos automotores e seus efeitos à saúde pública**. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) – Universidade de São Paulo – São Paulo, 2007.

SOUZA, Gustavo Rodrigues. **Avaliação experimental da transferência de calor em fornalha flamotubular utilizando como combustível o biodiesel e óleo diesel**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Escola de Engenharia de São Carlos – São Carlos, 2005

Petrobrás. Disponível em http://www.br.com.br/wps/portal!/ut/p/c1/04_SB8K8xLLM9MSSzPy8xBz9CP0os3hLf0N_P293QwN3d09XAYNTb5_AwKbGQwMDA30_j_zcVP2CbEdFAHXS8qI!/dl2/d1/L2dJQSEvUUt3QS9ZQnB3LzZfOU8xT05LRzEwR1NJQzAyNUhEUIJBQjFHODI!/?WCM_GLOBAL_CONTEXT=. Acesso em 20 de agosto de 2011.

URBS. Disponível em <http://www.urbs.curitiba.pr.gov.br/PORTAL/rit/>. Acesso em 20 de agosto de 2011.

ANEXOS

Anexo 1 - Emissão de O₂ (%)

Ônibus	Rotação Baixa	Desvio Padrão	Rotação média	Desvio Padrão	Rotação alta	Desvio Padrão
Volvo 2011	18	0,15	17,5	0,00	16,8	0,29
Mercedes 2009	19	0,31	17,6	0,06	17,5	0,11
Scania 2008	16,8	0,00	16,7	0,06	16,6	0,06
Volvo 2006	16,8	0,15	16,5	0,06	15,9	0,00
Scania 2006	13,7	0,57	14,8	0,00	14,9	0,06
Volvo 2000	17,1	0,06	15,9	0,00	15,7	0,06
Volkswagen 2002	16,8	0,11	16,4	0,15	16	0,00
Mercedes 2000	17,9	0,15	17,6	0,06	17	0,00
Volvo 1997	17,4	0,00	14,6	2,25	13,1	1,01
Volvo 1997	17,9	0,00	16,9	0,00		

Anexo 2 - Emissão de CO₂ (%)

Ônibus	Rotação Baixa	Desvio Padrão	Rotação média	Desvio Padrão	Rotação alta	Desvio Padrão
Volvo 2011	2,1	0,10	2,5	0,00	3	0,21
Mercedes 2009	1,3	0,23	2	0,69	2,5	0,11
Scania 2008	3,2	0,00	3,3	0,00	3,4	0,06
Volvo 2006	2,9	0,15	3,2	0,00	3,7	0,00
Scania 2006	5,3	0,35	4,3	0,11	4,7	0,00
Volvo 2000	2,2	0,00	2,9	0,06	3,1	0,06
Volkswagen 2002	3	0,23	3,3	0,06	3,6	0,15
Mercedes 2000	2,3	0,06	2,5	0,00	2,9	0,00
Volvo 1997	2,6	0,00	4,6	1,64	5,8	0,75
Volvo 1997	2,1	0,11	2,6	0,00		

Anexo 3 - Emissão de CO (ppm)

Ônibus	Rotação Baixa	Desvio Padrão	Rotação Média	Desvio Padrão	Rotação Alta	Desvio Padrão
Volvo 2011	43	5,00	76	3,61	92	1,15
Mercedes 2009	60	9,23	167	8,50	202	53,41
Scania 2008	105	0,00	208	1,53	136	0,58
Volvo 2006	67	0,58	81	3,78	114	0,58
Scania 2006	98	11,27	185	1,15	195	3,61
Volvo 2000	120	0,58	207	1,53	224	25,79
Volkswagen 2002	88	1,15	259	0,58	256	4,26
Mercedes 2000	667	7,77	438	15,70	543	27,50
Volvo 1997	307	5,20	440	50,34	274	27,06
Volvo 1997	875	13,45	3000	0,00		

Anexo 4 - Emissão de NO

Ônibus	Rotação Baixa	Desvio Padrão	Rotação Média	Desvio Padrão	Rotação Alta	Desvio Padrão
Volvo 2011	2	0,00	24	0,00	32	0,58
Mercedes 2009	32	1,15	33	0,00	33	0,00
Scania 2008	483	0,00	184	4,04	447	4,04
Volvo 2006	23	1,73	13	3,46	11	1,73
Scania 2006	12	1,53	12	1,15	12	0,58
Volvo 2000	492	4,04	222	0,00	206	0,58
Volkswagen 2002	12	0,00	10	0,58	11	0,00
Mercedes 2000	33	0,00	36	0,58	38	2,52
Volvo 1997	33	0,00	34	4,04	38	2,31
Volvo 1997	167	4,36	98	0,00		

Anexo 5 - Emissão de NO₂

Ônibus	Rotação Baixa	Desvio Padrão	Rotação Média	Desvio Padrão	Rotação Alta	Desvio Padrão
Volvo 2011	3,3	1,15	8,7	1,53	14	1,00
Mercedes 2009	2,3	0,58	6,7	0,58	9	0,00
Scania 2008	56	2,51	41	4,00	48	0,00
Volvo 2006	25	2,08	25	1,00	22	1,53
Scania 2006	21	4,04	15	1,73	42	3,46
Volvo 2000	43	5,00	25	4,04	11	0,00
Volkswagen 2002	18	0,58	38	0,00	37	0,58
Mercedes 2000	38	4,73	75	4,00	87	1,15
Volvo 1997	56	4,04	76	7,37	44	4,62
Volvo 1997	133	2,65	57	0,00		