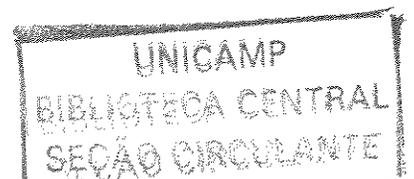


**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL**

**Análise Comparativa das Alternativas
Energéticas em Corredores de Transporte
Público**

Sônia Maria dos Santos

**Campinas, SP
2001**



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL
DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA E TRANSPORTES

Análise Comparativa das Alternativas Energéticas em Corredores de Transporte Público

Sônia Maria dos Santos

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Bandeira Guimarães

Dissertação de Mestrado apresentada à
Comissão de pós-graduação da Faculdade de
Engenharia Civil da Universidade Estadual de
Campinas, como parte dos requisitos para
obtenção do título de Mestre em Engenharia
Civil, na área de concentração de Transportes.

Campinas, SP
2001

Atesto que esta é a versão definitiva da dissertação/tese	
Prof. Dr.	<i>Carlos Alberto Bandeira Guimarães</i>
Matrícula.	213270

UNIDADE	SC
Nº CHAMADA	+/UNICAMP
	Sa59a
	EX
OMBO BCI	62.849
ROC.	16.86.05
C	<input type="checkbox"/>
D	<input checked="" type="checkbox"/>
REÇO	11.00
ATA	31.03.05
CPD	

BIBID - 345241

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

Sa59a Santos, Sônia Maria dos
Análise comparativa das alternativas energéticas em
corredores de transporte público / Sônia Maria dos
Santos. --Campinas, SP: [s.n.], 2001.

Orientador: Carlos Alberto Bandeira Guimarães.
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de
Campinas, Faculdade de Engenharia Civil.

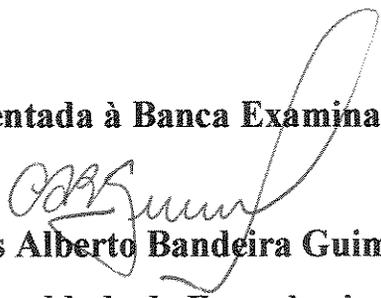
1. Desenvolvimento sustentável. 2. Gases de combustão.
3. Transportes coletivos. 4. Ônibus. I. Guimarães,
Carlos Alberto Bandeira. II. Universidade Estadual de
Campinas. Faculdade de Engenharia Civil. III. Título.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL**

**Análise Comparativa das Alternativas
Energéticas em Corredores de Transporte
Público**

Sônia Maria dos Santos

Dissertação de Mestrado apresentada à Banca Examinadora, constituída por:


Prof. Dr. Carlos Alberto Bandeira Guimarães

Presidente e Orientador/ Faculdade de Engenharia Civil – INICAMP

**Prof. Dr. Gilberto De Martino Jannuzzi
Faculdade de Engenharia Mecânica – INICAMP**


Profa. Dra. Maria Lucia Galves

Faculdade de Engenharia Civil – INICAMP

Campinas, 16 de julho de 2001

DEDICATÓRIA

Ao meu Pai, que na sua simplicidade, sempre soube usar com sabedoria o seu amor e a sua compreensão para me ajudar nestes anos. Mesmo agora, quando não se encontra mais comigo, eu sei que ele não deixou só saudades, mas soube espalhar o seu amor para que eu pudesse seguir em frente, mesmo quando Deus precisou dele mais do que eu. A ele que sempre foi o meu melhor modelo, eu dedico o meu eterno amor.

AGRADECIMENTOS

Quando se inicia um jornada como esta, em nenhum momento se imagina quantas pessoas vão passar pela nossa vida para enriquecer e ajudar a definir os objetivos, no início, tão indefinidos e nebulosos. É fantástico rever tudo isto no final da jornada e poder verdadeiramente agradecer estas pessoas que sempre estiveram do nosso lado.

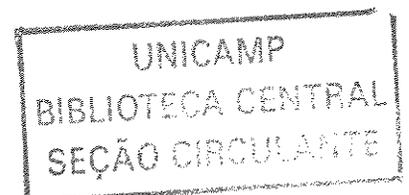
Agradeço profundamente ao meu orientador Prof. Carlos Alberto Bandeira Guimarães, pela sua paciência e inspiração nos momentos mais difíceis. Agradeço também ao Prof. Orlando Fontes Lima Jr., que abriu a primeira porta para esta empreitada. Não posso esquecer dos amigos que fiz neste período e dos funcionários da FEC que sempre estiveram prontos para auxiliar no que fosse necessário.

Aos meus amigos da URBS, que sempre torceram por mim e principalmente àqueles que foram fundamentais em muitos momentos difíceis. Não poderia deixar de agradecer ao corpo executivo da Empresa pela sua confiança, apoio financeiro e motivação.

A minha grande família, principalmente ao meu pai e a minha mãe, que sempre estiveram presentes nos cuidados com a minha filha Rafaela que na sua tenra idade soube ser companheira e compreender as necessidades de sua mãe, mesmo quando para isto acabava abdicando de um divertimento para que eu pudesse terminar um trabalho ou estudar. À você, Rafinha por existir e ser minha jóia mais rara. Eu amo você!

Existe ainda alguém que não foi só amiga, mas que participou de tudo tão de perto que também está encerrando sua jornada. A minha grande amiga Ana que trilhou comigo e que nestes anos todos só teve palavras de alento e incentivo. Este período só fez reforçar uma amizade que, com certeza, está fadada a ser eterna.

Pessoas e motivos para agradecimentos não faltam pois foram anos onde muitos passaram pela minha vida, alguns ficam na lembrança, outros mais do que isso, se tornam inesquecíveis.



“Percorra todo o Universo à procura de
alguém que mereça mais o seu amor do
que você. Não vai encontrar.”

Ditado Budista

SUMÁRIO

LISTA DE ABREVIATURAS	ix
LISTA DE FIGURAS	xi
LISTA DE TABELAS	xii
RESUMO	xv
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Considerações sobre o tema	1
1.2 Objetivo Geral	3
1.3 Metodologia de Desenvolvimento do Trabalho	4
1.4 Estrutura do Trabalho	4
2 A POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA E O PAPEL DO TRANSPORTE PÚBLICO	6
2.1 Aspectos Estruturais	6
2.2 Impactos Ambientais de Atividades de Transporte	9
2.3 Efeitos Nocivos à Saúde	10
2.4 Fontes Poluentes do Ar – O Papel dos Veículos Automotores	11
2.5 O Contexto Energético dos Transportes	17
3 COMBUSTÍVEIS LÍQUIDOS ALTERNATIVOS	19
3.1 Álcool	20
3.1.1 Características das Emissões de Veículos com Álcool Hidratado	20
3.2 Gás Liquefeito de Petróleo (GLP)	22
3.3 Gás Natural Comprimido (GNC)	22
3.3.1 A Tecnologia do OH-1623 LG	24
3.3.2 Programa para Utilização do GN nos ônibus no Município de São Paulo – Histórico .	25

3.4 Álcool Etílico Anidro Carburante – AEAC	32
3.4.1 Definição e Preparação da Mistura Álcool/Diesel/AEP 102	33
3.4.2 Emissões de Fumaça	34
3.4.3 Parâmetros de Emissões	35
3.5 Biodiesel	36
4 O ESTUDO DO IPEA	37
4.1 Objetivo	37
4.2 Análise de preenchimento e consistência de dados	37
4.3 Tabulações Básicas	38
4.4 Definição Teórica de Congestionamento	38
4.5 Critério para expansão do congestionamento na hora de pico	39
4.6 Consumo de Combustível	40
4.7 Emissão de Poluentes	41
4.8 Custo da Poluição Ambiental	43
5 O ESTUDO DO LABORATÓRIO NACIONAL DE ENERGIA RENOVÁVEL	44
6 ESTUDO DE CASO	54
7 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	68
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71
ABSTRACT	74

LISTA DE ABREVIATURAS

AEAC – Álcool Etilico Anidro Carburante
AIJ – Atividades de Implementação Conjunta
ANTP – Associação Nacional de Transportes Públicos
APTA – Associação Americana de Transporte Público
BEM – Balanço Energético Nacional
CBD – Zona Central de Negócios
CCTC – Cooperativa Comunitária de Transportes Coletivos
CDM – Clean Development Mechanism
CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CNG – Gás Natural Comprimido
CO – Monóxido de Carbono
CO₂ – Dióxido de Carbono
CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente
COP3 – Terceira Sessão da Conferência das Partes
DETRAN – Departamento de Trânsito
EBTU – Empresa Brasileira de Transporte Urbano
FIN – Fumaça Internacional Normalizada
GHGs – Gases Estufa
GLP – Gás Liquefeito de Petróleo
GMV – Gás Metano Veicular
HC – Hidrocarboneto
ID – Injeção Direta

IDI – Injeção Indireta
IEA – Agência Internacional de Energia
IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica e Aplicada
MBB – Mercedes Benz do Brasil
MDL – Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
MP – Material Particulado
NO_x - Óxido de Nitrogênio
NREL – Laboratório Nacional de Energia Renovável
OECD – Organização para Cooperação Econômica e Desenvolvimento
PAC – Plano de Alteração de Combustível
PROÁLCOOL – Programa Nacional do Alcool
RMSP – Região Metropolitana de São Paulo
SOF – Frações de Soluções Orgânicas
SPTrans – São Paulo Transportes S.A.
SVMA – Secretaria do Verde e do Meio Ambiente
UNFCCC – Convenção da Rede das Nações Unidas na Mudança Climática
USP – Universidade de São Paulo
US EPA – Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Avenida Marechal Floriano Peixoto	56
Figura 2 – Avenidas Iguaçu e Presidente Getúlio Vargas	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição da frota de veículos em 1992	12
Tabela 2 – Estimativa da Emissão de Veículos Automotores na RMSP em 1992	13
Tabela 3 – Contribuição relativa de emissão de veículos automotores na RMSP – 1992	14
Tabela 4 – Comparativo entre o veículo a gás e o equivalente a diesel	25
Tabela 5 – Comparativo entre motores de 1ª e 2ª geração	27
Tabela 6 – Quantidade de veículos por empresa	29
Tabela 7 – Desempenho	29
Tabela 8 – Confiabilidade	30
Tabela 9 – Desempenho	30
Tabela 10 – Comparativo de custos entre veículos a gás e diesel	31
Tabela 11 – Custo de combustível	31
Tabela 12 – Custo do lubrificante	31
Tabela 13 – Estimativa de dias equivalentes para efeito de congestionamento	40
Tabela 14 – Fatores de emissão de veículos a gasolina e a álcool	42
Tabela 15 – Ônibus CNG – Cummins L10-240G – ano 1991 – Miami, FL	47
Tabela 16 – Ônibus CNG – Cummins L10 – 240G – ano 1992 – Tacoma, WA	47
Tabela 17 – Ônibus CNG – Cummins L10 – 260G – ano 1993 – New York, NY	48
Tabela 18 – Ônibus CNG – Cummins L10 – 260G – ano 1994 – Tacoma, WA	48
Tabela 19 – Ônibus Metanol – DDC 6V – 92 TA – ano 1992 – Miami, FL	48
Tabela 20 – Ônibus Metanol – DDC 6V – 92 TA – ano 1993 – New York City	49
Tabela 21 – Ônibus Etanol – DDC 6V – 92 TA – ano – Peoria, IL	49
Tabela 22 – Ônibus Etanol – DDC 6V – 92 TA – ano 1991 – St. Paul, MN	50

RESUMO

Este trabalho traz a tona uma proposta de transporte público urbano na busca do desenvolvimento sustentável. Para tanto, o objetivo é clarificar alguns conceitos sobre a poluição atmosférica, emissões gasosas provenientes dos escapamentos dos ônibus urbanos movidos a óleo diesel, prejuízos à saúde e, a partir daí, propor uma alternativa de combustível menos nocivo à saúde humana e ambiental. A base do combustível adotada como alternativa é o gás natural que reforça o conceito de redução de emissões. O estudo de caso é realizado na Cidade de Curitiba onde um corredor de transporte será analisado para veículos a gás natural em substituição do atualmente utilizado a diesel.

Palavras Chave: desenvolvimento sustentável, emissões gasosas, reduções de emissões.

1 INTRODUÇÃO

1.1 Considerações sobre o tema

WARK E WARNER (1981) mencionam que a poluição do ar é causada pelos recursos da vida moderna. A maior causa da poluição do ar é a queima de combustíveis fósseis, que por sua ampla utilidade, é essencial para o homem.

MELLO (1989) diz que o calor é um subproduto de vários processos industriais atualmente praticados. É um produto da riqueza. As pessoas nos países de clima frio utilizam cada dia mais energia em sua vida diária. O uso dos automóveis se intensifica, e o calor aumenta de maneira crescente. Outra fonte desse calor é a queima de florestas. Em 1988, a humanidade colocou 5,5 bilhões de toneladas de carbono na atmosfera, provenientes da queima de combustíveis fósseis, e de 0,4 bilhão a 2,5 bilhões de toneladas provenientes da queima de florestas, segundo o relatório *State of the World*¹, citado por MELLO. Os países industrializados são responsáveis por pelo menos 85% da produção mundial de CO₂ devido à queima de combustíveis fósseis, sendo que sozinhos os EUA são responsáveis por 25% dessa emissão.

É imprescindível a busca de alternativas para o controle da poluição atmosférica e é notório o interesse de diversas correntes governamentais e não governamentais a respeito desse controle. Muitos estudos vêm sendo desenvolvidos a fim de buscar soluções práticas e economicamente viáveis para a redução de emissões gasosas que afetam severamente o globo

¹ *State of the World* – A Worldwatch Institute Report on Progress Toward a Sustainable Society – W.W.Norton e Co. (1988)

terrestre. Também a escassez das fontes renováveis de energia contribui para este fim, e projetos são desenvolvidos para manter o equilíbrio ambiental, hoje muito afetado.

Quando se fala em controle ambiental, a definição pode estar inserida no preço que o ser humano está disposto a pagar para viver em um ambiente mais “limpo”. Muitas correntes econômicas procuram mensurar estes custos, porém em muitos empreendimentos viários, as metodologias utilizadas para definir os impactos ambientais causados por estes projetos estão diretamente ligadas aos interesses políticos daquele empreendimento.

Iniciativas como escalonamento de utilização das vias, corredores exclusivos de transporte, vias preferenciais para veículos com ocupação otimizada, são formas positivas de diminuir congestionamentos em grandes centros urbanos e conseqüentemente a emissão de poluentes. Mas a necessidade de buscar novas alternativas redutoras de emissões está além destes projetos.

Uma delas, segundo JANNUZZI (1995) é a discussão em âmbito internacional que tem sido focada em novas taxas ou impostos e também em certificados de emissão, que poderiam ser negociados em um mercado internacional a ser estabelecido. Países industriais que ratificaram a Convenção Climática em 1997 em Kyoto, assumiram um compromisso de estabilizar ou reduzir as emissões futuras de CO₂. Existe um consenso de que os custos necessários para se promover reduções de emissões serão muitas vezes menores que os custos de adaptação às mudanças climáticas. A adoção de um sistema de certificados de emissões que pudessem ser comercializados internacionalmente é interessante para aqueles que possuem dificuldades de redução e que poderiam realizar empreendimentos conjuntos com outros em situação mais favorável. Assim por exemplo, empreendimentos com fontes renováveis ou com conservação de energia seriam contabilizados como projetos de redução de emissões de CO₂ e os países participantes dos empreendimentos dividiriam os benefícios. Países como E.U.A., Canadá, Noruega e Holanda estão realizando investimentos em projetos de reflorestamento, eficiência energética, energia solar e eólica em países como México, Nicarágua, Polônia, Costa Rica e outros.

Segundo CURTIS e ASLAM (1998) o Protocolo de Kyoto para a Convenção da Rede das Nações Unidas na Mudança Climática (UNFCCC) foi adotado pela Terceira Sessão da Conferência das Partes (COP 3) em 11 de dezembro de 1997 em Kyoto, Japão. O Protocolo firma um compromisso com os países do Anexo I para reduzir emissões na ordem de 5% sobre os níveis

de 1990 de seis gases estufa (GHGs) para os anos de 2008-2012 (Artigo 3). No Relatório da Agência Internacional de Energia - IEA, conforme CURTIS e ASLAM, entre as mais importantes inovações do Protocolo de Kyoto está o Artigo 12 que oferece o potencial de gerar benefícios para os países desenvolvidos e em desenvolvimento. O Artigo 12 prevê o estabelecimento do chamado Mecanismo de Desenvolvimento Limpo - MDC. A premissa básica do MDC é a de que reduções de emissões de gases estufa encontrados em países em desenvolvimento podem ser contabilizadas para as metas de reduções de gases estufa dos países desenvolvidos. Ao mesmo tempo, os países desenvolvidos oferecem aos países em desenvolvimento o potencial de maior desenvolvimento sustentável, através de investimentos e da acelerada aquisição de tecnologia avançada.

Baseado na busca do desenvolvimento sustentável e focado no objetivo de reduzir emissões, o presente trabalho aborda questões sobre as emissões gasosas a partir do escapamento de veículos de transporte público urbano movidos a diesel, bem como alternativas energéticas que permitam reduzir estas emissões através de um estudo de viabilidade técnica e econômica.

1.2 Objetivo Geral

O trabalho tem como objetivo geral analisar o desempenho de alternativas energéticas em corredores de transporte público urbano por ônibus. Para tanto a análise se baseia na utilização de combustíveis como óleo diesel e gás natural. Através de dados existentes sobre emissões gasosas, o estudo visa estabelecer parâmetros de custos e investimentos necessários para viabilizar a utilização da alternativa menos nociva à saúde humana e ambiental.

O principal desafio está em encontrar, através de análise comparativa, a melhor alternativa ou alternativas para dimensionamento da frota de veículos das cidades a partir de um modelo que busque obedecer ao enfoque de desenvolvimento sustentável. O relatório final da Comissão Mundial de Meio Ambiente, entregue em 1987 com o título *Nosso Futuro Comum*, apresenta o conceito de desenvolvimento sustentável como sendo *“aquele que atende às*

necessidades do presente sem comprometer a possibilidade das gerações futuras atenderem as suas próprias”.

1.3 Metodologia de Desenvolvimento do Trabalho

- a) Identificar os tipos de combustíveis utilizados pelos sistemas de transportes por ônibus;
- b) Identificar os principais gases poluentes provenientes dos escapamentos dos ônibus;
- c) Identificar os tipos de impactos causados pela emissão destes gases e os riscos à saúde;
- d) Calcular o valor monetário das alternativas e;
- e) Analisar viabilidade de implantação de um novo modelo.

1.4 Estrutura do Trabalho

O texto composto por 07 capítulos, foi estruturado de forma a manter um entendimento específico sobre o tema abordado, procurando definir claramente os aspectos a serem considerados. A base deste estudo está fundamentada sobre quatro temas distribuídos da seguinte maneira:

- Introdução e objetivos, visto no capítulo 1;
- A Poluição Atmosférica e o Papel do Transporte Público, no capítulo 2;
- Combustíveis Alternativos, suas tipologias, utilização e potencial de degradação ambiental, no capítulo 3;
- O estudo do IPEA no que concerne ao consumo de combustíveis e emissão de poluentes no sistema de ônibus nos corredores de Curitiba, presentes no capítulo 4;
- A metodologia de avaliação de desempenho nos veículos de transporte público levantadas pelo Laboratório Nacional de Energia Renovável – NREL, para combustíveis alternativos comparados com os similares movidos a diesel, mostrados no capítulo 5;

- O estudo de caso, apresentado no capítulo 6, que consiste em aplicar os percentuais das reduções de emissões gasosas vista no capítulo 5 para corredores da Cidade de Curitiba avaliada pelo IPEA no capítulo 4; e
- Conclusões e considerações finais presentes no capítulo 7.

Os capítulos 2 e 3 são destinados às questões conceituais referente ao assunto, definindo o conceito de poluição atmosférica, os principais fatores causadores de emissões de poluentes por veículos urbanos movidos a óleo diesel e os combustíveis alternativos. os capítulos 5 e 6 destinam-se à apresentação das metodologias utilizadas e nos capítulos 7 e 8 são apresentadas o estudo de caso e as conclusões e considerações finais.

2 A POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA E O PAPEL DO TRANSPORTE PÚBLICO

2.1 Aspectos Estruturais

“Quando o meio ambiente sofre alterações que podem causar prejuízos aos seres vivos, considera-se que este ambiente está poluído (TOLENTINO, 1995)”.

Conforme o Instituto de Tecnologia do Paraná (1999) a poluição atmosférica é um dos principais problemas ambientais e de saúde pública nos centros urbanos. Ao lado das indústrias e das atividades de serviços, os veículos ocupam destaque como fontes emissoras de poluentes atmosféricos. A deterioração da qualidade do ar eleva custos sócio econômicos e provoca sérios danos a saúde humana, devendo ser controlada através da adoção de medidas eficazes para o controle da poluição. Partículas com diâmetro inferior a 10 µm conseguem ultrapassar nosso sistema de filtragem (aparelho mucociliar) e alojam-se nos brônquios e alvéolos pulmonares, provocando toda sorte de males respiratórios: alergias, asma, bronquite, etc. Em particular, os veículos movidos a óleo diesel são grandes emissores de material particulado, sendo que 80% do material particulado é fuligem (fumaça negra). Esta fuligem é composta principalmente de carvão, o qual absorve substâncias tóxicas, irritantes e cancerígenas. Depositadas nos alvéolos, causam danos à saúde devido a longa permanência. Ainda, dentre os veículos a diesel, os ônibus urbanos são certamente os maiores vilões, principalmente devido ao grande número de ônibus que circulam nos centros das cidades.

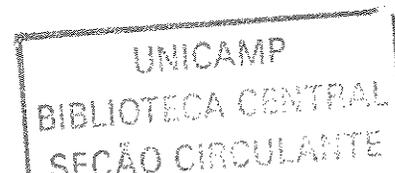
Segundo ANDRADE (1998) o principal desafio enfrentado pelo sistema de transportes é a questão da sua “sustentabilidade”. A sustentabilidade do transporte terrestre passa pela análise

da questão econômica, mas tem sua base na estudo das conseqüências sobre o ambiente que mantém seu metabolismo: o ecossistema urbano e os habitantes que aí residem. Cerca de 90% da frota de veículos circula dentro das cidades e em seu perímetro urbano, emitindo diariamente toneladas de poluentes no nível da rua, onde trafegam, vivem e trabalham milhares de pessoas. Sem contar a utilização do solo urbano (estima-se quase 50% da área útil de alguns municípios em estacionamento, vias expressas de circulação) e rural (estradas, espaço para pedágio). Os veículos automotores de ciclo Otto e Diesel produzem mais poluição atmosférica do que qualquer outra atividade humana isolada.

HOTHERSALL e SALTER (1977) mencionam que as exigências do mundo moderno estão relacionadas com a mobilidade da população, e em como fornecer esta mobilidade sem agredir tanto o meio ambiente. Os diversos sistemas de transporte objetivam o fornecimento de serviços rápidos, seguros e confiáveis a fim de atender a demanda dos usuários. Os objetivos ambientais exigem uma redução da poluição do ar e da emissão de ruídos, entre outras. Isto significa que, no processo de planejamento de transportes, muitas considerações devem ser dadas aos fatores ambientais além dos aspectos convencionais de geração de viagens, distribuição, divisão modal e outras tarefas.

Através dos estudos da OECD – Organização para a Cooperação Econômica e Desenvolvimento (1988) a demanda do transporte é em grande parte uma “exigência derivada” e principalmente reflete o nível da atividade econômica. O mercado de transporte de passageiros depende das exigências de viagens de casa para o trabalho; o mercado de transporte de carga depende de outras atividades produtivas.

O sistema de transporte realiza o papel mais positivo na vida econômica dos países e na vida diária de seus cidadãos. Por um lado a produção e a manutenção de infra estruturas de transporte e equipamentos móveis, e por outro lado a sua utilização, representam um peso considerável nas economias dos países da OECD. O equilíbrio de pagamentos entre países membros também é fortemente influenciado pelo comércio internacional de equipamentos de transporte e serviços de transporte. A compra de serviços e equipamentos de transporte constitui uma porcentagem significativa de despesas de negócios e de consumo doméstico (cerca de 10%: mais na América do Norte, menos no Japão). Uma forma substancial de taxar impostos também



vem sendo estudado para auxiliar nas despesas públicas no transporte, particularmente para investimento de capital e serviços subsidiados.

Os efeitos negativos das atividades de transporte estão relacionadas principalmente com a operação de equipamentos e na construção de infra estruturas: elas incluem acidentes, congestionamento, poluição do ar e ruídos devido ao transporte viário, poluição pelo combustível em transporte marítimo, ruídos das aeronaves, consumo de energia e de espaço e outros recursos naturais da produção de veículos.

ANDRADE (1998) reforça que os desafios dos transportes no Brasil são de longa data, e têm uma trajetória totalmente integrada à história da ocupação territorial, do desenvolvimento regional e urbano, da inserção de tecnologia de locomoção e do uso de combustíveis fósseis, principalmente, a partir da metade do século XX.

Em 1940 a população rural totalizava 70% da população total brasileira, enquanto a população urbana era apenas 12 milhões de habitantes. A partir deste período, o quadro populacional foi se invertendo até os dias atuais com 78% da população vivendo em centros urbanos.

O sistema de transporte, durante os últimos 50 anos, sofreu uma grande expansão com a entrada da indústria automobilística e com o conseqüente aumento no consumo de derivados de petróleo no mercado brasileiro, desenvolvendo principalmente o modal rodoviário em detrimento ao ferroviário. O transporte rodoviário de cargas e de passageiros vem sendo o causador de muitos problemas ambientais nos centros urbanos. Além das implicações sobre as mudanças climáticas globais resultantes da queima de combustíveis fósseis, há os problemas associados à poluição local, como doenças respiratórias e os de congestionamentos, barulho, acidentes de trânsito e uso do solo.

O fator determinante para o uso de fontes alternativas nasce das restrições às emissões gasosas que já estão sendo impostas aos transportes em nível local, regional e global. Mundialmente, cerca de 50% das emissões do CO, HC e NO_x são causados pela queima de gasolina e diesel pelos veículos e cerca de 70% das emissões de SO₂ e CO₂ nos centros urbanos é devido à circulação de milhares de veículos por dia.

2.2 Impactos Ambientais de Atividades de Transporte

Segundo a OECD (1988) os tipos de impactos que as atividades de transporte têm no meio ambiente e sua importância dependem:

- a) da produção de infraestrutura de transporte, equipamentos móveis e seus serviços regulares e manutenção;
- b) da operação dos modelos de transporte (que é a intensidade de uso);
- c) do tipo de modais de transporte (aéreo, hidroviário, ferroviário e rodoviário); e
- d) das tecnologias utilizadas.

As principais consequências ambientais de atividades de transporte podem ser resumidas e estruturadas como segue:

- problemas de poluição que são principalmente ligadas com poluentes do ar (CO, NO_x, HC, particulados, chumbo e assim por diante) e sua associação aos riscos para a saúde e impactos ecológicos. Os odores desagradáveis e a sujeira são evidentes e fontes comuns de aborrecimentos;
- os distúrbios por ruídos, devido particularmente ao tráfego viário, é um incômodo comum constante, especialmente em áreas residenciais e a noite;
- a utilização do solo por infra estruturas de transporte entram em conflito com outros usos do solo e também influenciam os valores de propriedades;
- problemas relacionados principalmente à disposição de material escavado e entulhos durante a construção de novas estruturas de transporte, além da recuperação e reciclagem de veículos sucateados e a destruição de materiais não recuperáveis;
- riscos de acidentes principalmente na operação diária dos modais de transporte;
- consumo de fontes de energia não renováveis, devido à alta dependência do petróleo; e
- os congestionamentos que resultam em perda de tempo, que poderiam ser gastos em atividades mais agradáveis ou produtivas.

Segundo HOTHERSALL e SALTER (1977) as maiores operações de transporte e particularmente as vias urbanas, causam uma mudança no visual urbano. Em algumas

circunstâncias e para algumas pessoas esta intrusão causa uma considerável perda de comodidade. Em todos os aspectos, as considerações econômicas são muito importantes.

2.3 Efeitos Nocivos à Saúde

BRANCO (1995) coloca que os poluentes atmosféricos normalmente, entram no organismo por via respiratória. Intimamente ligados aos motores de explosão dos veículos, estão os óxidos de carbono, que também têm ação poluidora. Componente estranho à composição do ar atmosférico, o monóxido de carbono pode acarretar graves danos à saúde e dependendo da exposição, até a morte.

Segundo BRAZ (1996) o Monóxido de Carbono (CO) quando combinado com a hemoglobina no sangue, diminui a capacidade de oxigenação do cérebro, coração e outros tecidos do organismo. Pode provocar tonturas, dores de cabeça, sono e redução dos reflexos, fazendo assim, com que as pessoas percam a noção do tempo. É um dos principais responsáveis por acidentes de tráfego em áreas de grande concentração de poluição aumentando também o estado de morbidez em pessoas idosas.

Os Hidrocarbonetos (HC) são irritantes aos olhos, nariz, pele e parte superior do sistema respiratório, onde aumenta a presença do muco. Podem vir a causar danos celulares, sendo que diversos hidrocarbonetos são considerados carcinogênicos e mutagênicos com alteração do DNA. Reduz também a visibilidade ambiente, com conseqüente aumento de acidentes no sistema viário.

Os Óxidos de Nitrogênio (NOx) provocam irritação e contração das vias respiratórias, diminuindo a resistência orgânica às infecções e participam do desenvolvimento de enfisema pulmonar.

O Material Particulado (fumaça internacional normalizada – FIN), atinge os alvéolos pulmonares, produzem alergia, asma, bronquite crônica e agravamentos de sintomas produzidos por outros poluentes.

Os ruídos (poluição sonora) nos locais críticos, chegam a atingir níveis acima de 90 decibéis, nocivos para os ouvidos humanos, levando as pessoas que estão expostas a mais de 8

horas diárias, a lesões graves dos sistemas auditivo e nervoso. As temperaturas baixas bem como os ventos contribuem para que haja um acréscimo nos níveis de ruído da cidade. Acréscimo de pressão atmosférica e da umidade relativa do ar favorecem a propagação do som e conseqüentemente a poluição sonora.

BRAZ (1993) ainda afirma que na área de medicina do trânsito discute-se que os usuários do sistema urbano expostos a altas concentrações de poluentes têm maior probabilidade de sofrer acidentes viários. O desenvolvimento desta hipótese aponta o monóxido de carbono como o principal causador deste fenômeno, já que diminui a oxigenação cerebral, provocando perda momentânea da memória.

O Jornal O GLOBO (1997) menciona que uma pesquisa do Laboratório de Poluição da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo (USP) relaciona a poluição atmosférica ao aumento da mortalidade de idosos e à morte de fetos a partir de 24 semanas (quase 6 meses) de gestação. Os estudos da USP indicam que cada vez que a concentração de material particulado – liberado por ônibus, caminhões e veículos a diesel – aumenta 100 miligramas por m^3 , a mortalidade de pessoas com mais de 65 anos cresce 13%. A equipe constatou ainda que, numa média de 8 natimortos por dia em São Paulo, um pode ter causa de sua morte atribuída à poluição. Segundo o pesquisador Luiz Alberto Amador Pereira, citado na reportagem, os riscos para a saúde ocorrem principalmente a partir de uma média de 82,4 microgramas de partículas por metro cúbico.

2.4 Fontes Poluentes do Ar – O Papel dos Veículos Automotores

O inventário de emissão veicular da Diretoria de Pesquisa e Desenvolvimento de Tecnologia (1994) diz que os veículos automotores constituem uma das principais fontes de poluição do ar nas regiões urbanas, ao lado dos processos industriais e de geração de calor, queima de resíduos e movimentação e estocagem de combustíveis. Num veículo automotor tem-se a emissão de gases e partículas pelo tubo de escapamento, vapores através do sistema de

alimentação de combustível, gases e vapores pelo respiro do cárter e de partículas originadas do desgaste de pneus e freios.

Dentro deste estudo a Tabela 1 mostra a composição da frota de veículos em 1992. Os dados foram fornecidos pelo DETRAN e representam a frota registrada e licenciada para circulação nos 30 municípios que compõem a Região Metropolitana de São Paulo – RMSP em 31/12/92.

Tabela 1 - Composição da frota de veículos em 1992.

ANO-MODELO	VEÍCULOS GASOLINA	VEÍCULOS ÁLCOOL	VEÍCULOS DIESEL	TOTAL
Pré-83	1.681.753	99.478	163.318	1.944.549
1983	68.140	139.659	12.296	220.095
1984	17.346	144.538	11.699	173.583
1985	16.310	153.934	13.353	183.597
1986	25.867	239.264	22.634	287.765
1987	17.703	135.357	20.076	173.136
1988	21.006	166.797	16.861	204.664
1989	79.286	152.255	21.210	252.751
1990	148.524	40.828	17.855	207.207
1991	177.248	31.402	14.476	223.126
1992	141.157	57.128	13.149	211.434
TOTAL	2.394.340	1.360.640	326.927	4.081.907

Fonte: IPEA/1998

Os procedimentos para a estimativa das emissões devido aos veículos automotores na RMSP, 1992, podem ser aplicados para outras regiões, gerando subsídios importantes para uma avaliação preliminar da situação bem como na orientação e no estabelecimento de estratégias e programas locais para o controle de poluição do ar. A Tabela 2 apresenta esta estimativa. É conveniente salientar que um subsídio importante que pode ser obtido a partir deste tipo de informação é a participação em termos percentuais de cada fonte poluidora, o que permite o

estabelecimento de uma ordem de prioridade no controle destas fontes, como apresentado na Tabela 3.

Tabela 2 - Estimativa da emissão de veículos automotores na RMSP em 1992.

FONTE DE EMISSÃO	TIPO DE VEÍCULO	EMISSÃO (1.000t/ano)				
		CO	HC	NOx	SOx	MP
TUBO DE ESCAPAMENTO	GASOLINA	762	73,8	32,0	5,4	5,2
	ÁLCOOL	345	37,7	24,5	-	-
	DIESEL	466	75,8	340,0	71,1	21,2
	TÁXI	54	5,5	2,7	0,3	0,3
	MOTOS E SIMIL.	30	6,6	0,2	0,3	0,1
EMISSÃO DO CÁRTER E EVAPORATIVA	GASOLINA	-	116,4	-	-	-
	ÁLCOOL	-	40,0	-	-	-
	MOTOS E SIMIL.	-	2,2	-	-	-
PNEUS	TODOS TIPOS	-	-	-	-	9,3
OPERAÇÕES DE TRANSFERÊNCIA DE COMBUSTÍVEL	GASOLINA	-	9,8	-	-	-
	ÁLCOOL	-	3,0	-	-	-
TOTAL		1657,0	370,8	399,4	77,1	36,1

Fonte: IPEA/1998

Tabela 3 – Contribuição relativa de emissão de veículos automotores na RMSP em 1992

FONTE DE EMISSÃO	TIPO DE VEÍCULO	EMISSÃO (%)				
		CO	HC	NOx	SOx	MP
TUBO DE ESCAPAMENTO	GASOLINA	46	20	8	7,0	14,3
	ÁLCOOL	21	10	6	-	-
	DIESEL	28	20	85	92,0	58,7
	TÁXI	3	1	1	0,5	0,8
	MOTOS E SIMIL.	2	2	Desprezível	0,5	0,3
EMISSÃO DO CÂRTER E EVAPORATIVA	GASOLINA	-	31	-	-	-
	ÁLCOOL	-	11	-	-	-
	MOTOS E SIMIL.	-	1	-	-	-
PNEUS	TODOS TIPOS	-	-	-	-	25,9
OPERAÇÃO DE TRANSFERÊNCIA DE COMBUSTÍVEL	GASOLINA	-	3	-	-	-
	ÁLCOOL	-	1	-	-	-
TOTAL		100	100	100	100	100

WARK E WARNER (1981) mencionam que os particulados sólidos lançados na atmosfera são gerados pela queima de combustíveis tais como cal e óleos em fornos estacionários e pela gasolina, óleo diesel e motores a jato em fontes móveis. Os processos de fabricação, tais como moedores, fundição, compressores, moagem de grãos e a seca, também contribuem para a poluição do ar.

A OECD (1988) reforça que os caminhões são apontados como uma fonte muito importante de emissões de NOx, fumaça, material particulado e ruídos. Os padrões de emissão rigorosos para veículos pesados equipados com motor a diesel não têm sido desenvolvidos tão rapidamente quanto para veículos leves movidos a gasolina. O desenvolvimento de tecnologias de controle para caminhões e ônibus tiveram início mais tarde. Contudo, mais atenção tem sido dada ultimamente a estas categorias de veículos. Recentemente o *Environment Protection Agency - US EPA* estabeleceu novos regulamentos para ônibus e caminhões leves e pesados em relação à emissão de NOx e particulados. Estes padrões enfatizam a necessidade de novas e eficientes tecnologias.

BRAZ (1996) menciona ainda que a emissão maior de poluentes nos veículos a diesel está concentrada no sistema de exaustão dos gases de combustão. O diesel por ser não volátil e

possuir sistema fechado de injeção, contribui menos nas emissões evaporativas e do cárter que outros combustíveis. Duas preocupações recaem sobre os motores a diesel: o material particulado resultado do carbono não queimado, produzindo daí a fumaça, e o NOx formado a partir da queima da mistura ar-combustível, onde o nitrogênio contribui com 80% do ar presente na câmara de combustão, resultando daí também vários outros óxidos. Como os motores a Diesel trabalham em temperaturas mais altas que os motores a álcool ou a gasolina, as emissões de NOx acabam sendo maiores neste tipo de motor.

WARK E WARNER (1981) dizem que no ciclo básico diesel o ar sozinho é comprimido a alta pressão e temperatura durante o processo da compressão. O combustível é injetado dentro do cilindro e a ignição ocorre quando o vapor de combustível e ar se misturam e alcançam a temperatura de auto-ignição. A quantidade total de combustível injetado é controlado pela carga e velocidade do motor. O motor diesel opera em um ciclo de dois tempos ou quatro tempos e é aspirado ou turbo comprimido. Além disso, os motores a Diesel em relação à forma de injeção do combustível podem ser classificados como DI – Injeção direta ou IDI – Injeção indireta. Na injeção direta, o combustível é injetado diretamente dentro da câmara de combustão e na injeção indireta, o combustível é injetado dentro de uma câmara de pré-combustão ou câmara de combustão dividida.

HIROYASU e NISHIDA (1989) mencionam que a trajetória e dispersão da vaporização da câmara de combustão é de importância significativa na formação da mistura ar-combustível e posterior combustão em um motor Diesel com injeção direta (DI). O processo de espalhamento do combustível inclui o fenômeno de quebra do líquido, vaporização particulada, comprometimento das paredes da câmara e dispersão pelo redemoinho do fluxo de gás. Por causa da importância de se compreender e modelar a vaporização, este fenômeno tem recebido muita atenção por parte dos pesquisadores. Vários avanços experimentais, incluindo modelagem computacional avançada permitiram o desenvolvimento de vários modelos que simulam o fluxo de gases dentro da câmara de combustão, que podem ser utilizados para uma melhor compreensão do fenômeno, e assim possibilitando formas de controle do processo.

YOSHIKAWA et al. (1989) colocam que o processo de combustão em um motor a Diesel com injeção direta (DI) é fortemente influenciado por fatores como as características da injeção de combustível; do redemoinho da mistura ar-combustível e da própria geometria da

câmara de combustão. Para se obter uma boa economia de combustível e uma baixa emissão de poluentes, muitos estudos experimentais têm sido desenvolvidos para avaliar o efeito destes fatores sobre o desempenho do motor. Contudo, a influência destes fatores sobre o processo de combustão não é ainda completamente compreendido por causa da sua complexidade. Existem muitos problemas não solucionados relativos ao mecanismo da combustão, que é complicado pelo comportamento do *spray* do diesel. O ponto importante no processo de desenvolvimento do *spray* no motor Diesel DI é o próprio comportamento na vaporização e quando ele se choca com a parede da câmara de combustão. O comportamento do *spray* após esse impacto tem um grande efeito em sua própria dispersão e sobre a formação de uma mistura do combustível na câmara de combustão. Existem algumas análises do *spray* e da parede da câmara que têm sido investigadas experimentalmente. Contudo estes estudos prévios têm sido considerados com a finalidade de propor esclarecimentos sobre as fontes de emissões de hidrocarbonetos (HC) em motores em marcha-lenta. Os resultados sugeriram que impingir vaporização com as paredes da câmara de combustão fria é uma das fontes de emissão de HC.

O objetivo da injeção de combustível em um motor diesel é pulverizar combustível líquido em grande quantidade ou um “*spray*” e fornecer uma alta pressão, alta temperatura do ar que é comprimido por um pistão para dar início a sua ignição. O processo de injeção de combustível inicia a formação da mistura que controla o processo total de combustão no motor.

ABE e HAYASHIDA (1989) mencionam que a emissão de fumaça preta e outros particulados (PME) por motores a diesel está sujeito a regulamentos de controle no Japão. Como o nível de emissão de fumaça se tornou alto com a carga total de motores, testes aprovados são feitos para baixar a média e maximizar a velocidade dos motores. A necessidade de medir todas as emissões foi necessária incluindo frações de soluções orgânicas (SOF), de acordo com a intensificação de conceitos sobre riscos potenciais à saúde. O desenvolvimento de medições precisas e de métodos de avaliação que reflitam as condições reais de emissões de PM, tornou-se uma tarefa urgente para as condições de tráfego atuais. Uma proposta americana para analisar motores pesados a diesel é o “*Ciclo Transitório US*” que é um exemplo de reprodução das condições operacionais para as condições atuais de tráfego, porém o controle dessas operações ainda é complicado.

As emissões de motores diesel são:

- a) Odor;
- b) Fumaça;
- c) Monóxido de Carbono;
- d) Hidrocarbonetos não queimados;
- e) Óxido de Nitrogênio; e
- f) Ruídos

Todas as emissões dependem das seguintes variáveis básicas:

- a) Projeto da câmara de combustão;
- b) Projeto de injetor de combustível;
- c) Composição do combustível, incluindo aditivos;
- d) Proporção do ar-combustível;
- e) Motor naturalmente aspirado ou turbo comprimido; e
- f) Condição do motor

2.5 O Contexto Energético nos Transportes

Conforme ANDRADE (1998), atualmente o setor de transporte é responsável por metade do consumo mundial de petróleo e cerca de 30% do consumo mundial de energia comercial. É também o setor que mais tem crescido em termos de consumo de energia, particularmente, em petróleo. De 1971 a 1993, o uso mundial de energia para transporte cresceu 77% com uma média anual de 2,6% . Esta taxa de crescimento foi muito maior que a demanda de energia no setor industrial (1,3%) ou de outros setores (1,9%). A taxa de crescimento na OECD - Organização para a Cooperação Econômica e o Desenvolvimento - (1,8%) e particularmente na América do Norte, tem sido a menor comparada com o resto do mundo (4,5%), refletindo a saturação de automóveis per capita naqueles países. O crescimento tem sido maior nas economias emergentes, como por exemplo, na China, Ásia Oriental e parte da América Latina.

O setor de transporte tem aumentado sua participação do consumo final total de derivados de petróleo de 41,9% em 1971 para 55,6% em 1993. Dentro do setor de transportes, o

consumo de combustíveis a base de petróleo representa 97% de todos os combustíveis consumidos. Para o período entre 1993 e 2010, a demanda anual de petróleo foi projetada para 800 Mtep, cerca de 16 milhões de barris por dia, num crescimento médio de 2,6% por ano.

ANDRADE (1998) ainda reforça que no Brasil o Balanço Energético Nacional, BEN 1997, diz que em 1996 o setor de transporte teve 21% do consumo total de fontes energéticas e cerca de 49% do consumo total de petróleo.

O consumo de petróleo no setor de transportes tem crescido em média 3,5% a.a. nestes últimos 15 anos, estando a taxa relativa a 1996 em 8% a.a.

A participação das fontes energéticas no consumo total no setor de transportes em 1996 está em torno de 47% diesel, 29% gasolina automotiva, 16% álcool, 6% querosene, 1% eletricidade e 1% outros.

O transporte rodoviário consumiu em 1996 cerca de 41,3 Mtep, sendo 47,5% diesel, 30,7% gasolina, 16,8% álcool e 0,1% gás natural. Não está computado o transporte rodoviário movido a eletricidade, por ser pontual em alguns centros urbanos, como São Paulo. Em São Paulo, o consumo de eletricidade para trólebus está em torno de 1,5% da energia elétrica consumida por tração.

3 COMBUSTÍVEIS LÍQUIDOS ALTERNATIVOS

Conforme a OECD (1988), durante a última década as interrupções e aumento de custos no fornecimento de petróleo aceleraram o interesse em combustíveis alternativos para veículos automotores. A necessidade por estes combustíveis, especialmente combustíveis líquidos apropriados para motores de combustão interna, é o de maior prioridade para o desenvolvimento de ambas as áreas e para os países industrializados. A OECD diz ainda que em 1976, quase 67% do total do consumo de energia comercial em países em desenvolvimento consistia de petróleo e produtos refinados (51% nos países industrializados). Já nessa época, pelo menos a metade deste consumo devia ser renovável por outras fontes não hídricas para a geração de eletricidade ou o fornecimento de energia mecânica. Não existe atualmente nenhuma alternativa viável para os combustíveis líquidos na maioria dos setores de transporte. Tais combustíveis podem ser produzidos por um número de fontes, incluindo carvão, óleo de xisto betuminoso, gás natural, urânio e biomassa. Enquanto a gasolina sintética, diesel sintético, metanol e etanol são todos possíveis, a maioria dos investigadores têm concluído que os álcoois – etanol e metanol – aparecem como os mais promissores durante os próximos 20 anos.

Utilizando as definições promovidas pela OECD (1988), serão descritos a seguir, os conceitos sobre alguns destes combustíveis.

3.1 Álcool

Um motor a combustão com faísca na ignição requer várias modificações para operar satisfatoriamente com álcool puro. As mudanças no motor incluem o aumento na proporção de compressão; o aumento no jato do carburador e o ajuste no tempo do motor. A maior preocupação está relacionada à lubrificação, às partidas frias e às emissões de aldeído no escapamento. O problema com partidas frias pode ser resolvido pelo uso de gasolina separada ou sistema de partida GLP, ou pela adição de um componente volátil para o álcool. A introdução do etanol puro em veículos no Brasil e sua viabilidade técnica mostrada na Alemanha e na Califórnia confirmam sua posição como combustível. Os motores de álcool hidratado permitirão alta compressão. Juntos com outras propriedades combustíveis, um aumento de eficiência termal de 15-20% pode ser encontrado.

Com referência à operação do motor diesel com álcool puro, o interesse mais atual está focado na chamada faísca assistida de diesel e, mais recentemente nos dois tempos de diesel. Um motor Diesel com faísca assistida em ônibus, demonstrou consumo de energia igual ao diesel, reduziu emissões de NO_x, sem fumaça (acompanhado de baixa emissão de particulados), a partida fria adequada e bom desempenho. Resultados semelhantes têm sido obtidos com o sistema duplo de injeção de combustível, com o diesel servindo como combustível piloto da primeira ignição. O conceito tem sua viabilidade técnica tanto em caminhões quanto em ônibus. O metanol fornece em torno de 80% da energia necessária.

3.1.1 Características das Emissões de Veículos com Álcool Hidratado

A utilização de motores de álcool hidratado resulta em emissões que possuem somente alguns dos componentes que aparecem nas emissões dos motores a gasolina. Hidrocarbonos aromáticos (incluindo benzeno) não são formados e emissões de PAH são muito baixas. Os componentes característicos de emissões são Monóxido de Carbono, Álcool não Queimado,

Óxido de Nitrogênio e aldeídos. Os motores de metanol puro tendem a ter baixas emissões de CO, NOx e combustíveis não queimados e podem ser usados junto com catalisadores. As emissões evaporativas são baixas.

As emissões de aldeídos, contudo, podem ser de quatro a oito vezes mais altas que as dos veículos a gasolina. Estes compostos tendem a ser altamente reativos do ponto de vista fotoquímico e contribuir diretamente na irritação dos olhos. Os aldeídos podem ser efetivamente reduzidos pelos catalisadores, como tem sido mostrado em testes nos Estados Unidos.

As características de emissões de motores diesel movidos à álcool são boas. Elas se caracterizam por baixas emissões de NOx, PAH e de particulados. Ambos os conceitos podem ser usados conjuntamente em uma oxidação catalítica que eficientemente reduz os combustíveis não queimados e aldeídos. A fâisca de ignição do motor metanol mostra virtualmente a não emissão de particulados e mais baixa emissão de ruídos que o equivalente a diesel.

Através do 5º Relatório Anual do Departamento de Energia dos Estados Unidos (1996) na média, os ônibus de transporte movidos a etanol e metanol emitem níveis de material particulado semelhantes aos emitidos pelo ônibus a diesel com filtro de particulados. Estes mesmos níveis são muito mais baixos, na média, que os níveis de material particulado emitidos pelos ônibus movidos a diesel sem filtro de particulados. Embora estes filtros fossem eficientes na redução de emissões de material particulado dos ônibus a diesel, eles foram retirados do mercado e dos veículos por causa do alto custo de manutenção e problemas de durabilidade. A maioria dos ônibus movidos a etanol e a totalidade dos movidos a metanol emitem níveis mais baixos de NOx em relação aos seus similares a diesel. Em contrapartida, os ônibus movidos a álcool emitiram quantidades mais altas de hidrocarbonos e monóxido de carbono, na média, que o seu equivalente a diesel. Os ônibus mais novos movidos a metanol e utilizando motores Diesel da marca Detroit tipo 6V92TA operando na Cidade de Nova York, apresentaram emissões mais baixas de hidrocarbonos e monóxido de carbono que o seu equivalente a diesel ou os mais antigos movidos a álcool. Contrariando alguns dos resultados acima observados, as informações sobre as certificações do motor Diesel Detroit 6V92TA indicam ser possível alcançar redução de emissões nos quatro componentes, ou seja, hidrocarbonos, monóxido de carbono, óxido de nitrogênio e material particulado.

3.2 Gás Liquefeito de Petróleo - GLP

O GLP tem muitas características atrativas como um combustível automotivo . Por ser um gás, a distribuição da mistura tende a ser inerentemente boa. É também compatível com a maioria dos veículos e pode ser facilmente usado em muitos veículos atuais com pequenas modificações. Contudo, o uso comum é impedido pelas dificuldades práticas associados com o uso. O GLP deve ser armazenado em *containers* em compartimentos separados. Existem cerca de 5.000 postos de venda de GLP na Europa, uma grande proporção associada com postos de gasolina comum. Existem um pouco mais que 1.000.000 de veículos movido à GLP na Europa, a maioria deles na Itália e nos Países Baixos. Programas de incentivo compensam o consumidor pelos custos de conversão.

Os veículos GLP são geralmente equipados com dois sistemas de combustível para permitir o uso de gasolina bem como de GLP, por causa da rede de distribuição ainda incompleta. Do ponto de vista ambiental isto deve resultar em mais poluição no ar que o necessário, por causa do comprometimento no projeto. Os veículos otimizados para GLP têm um grande potencial para serem veículos com baixa emissão. Os veículos com equipamentos para GLP geralmente mostram baixas emissões de CO, bem como de HC, ao passo que as emissões de NOx tendem a ser altas.. As emissões de hidrocarbonetos contêm apenas alguns aromáticos e as emissões de PAH são baixas.

Os veículos pesados à diesel podem ser convertidos para operar com GLP mudando-se a faísca do sistema de ignição. Isto levará a um aumento de consumo de combustível, mas dará níveis de ruído mais baixos e melhorias nas emissões do escapamento.

3.3 Gás Natural Comprimido - GNC

ÁLVARES JUNIOR et al. (1997) mencionam que o gás natural é uma alternativa desejável, do ponto de vista ambiental, desde que os motores sejam projetados para esta

finalidade. Entretanto a conversão e a adaptação inadequadas de motores pode resultar em alta emissão de poluentes como CO e NOx e baixa eficiência de combustão, anulando as vantagens sobre os combustíveis convencionais. A principal característica ambiental do gás natural é a emissão praticamente nula de material particulado e óxidos de enxofre. Além de apresentar vantagens econômicas em relação ao preço do combustível, sua utilização aumenta a vida útil do motor, reduzindo os custos de manutenção e o consumo de óleo lubrificante.

A OECD (1988) coloca que o GNC como combustível automotivo tem muitas das características atrativas do GLP. Por ser um gás, a distribuição da mistura ar-combustível tende também a ser boa. Também é compatível com a maioria dos veículos e pode ser usado em muitos dos veículos existentes com pequenas modificações. Entretanto, seu uso mais abrangente é impedido pelas dificuldades práticas associadas com a sua utilização. O GNC deve ser armazenado em pesados *containers* que ocupariam espaço no veículo e aumentariam o seu peso morto. No momento não existe uma rede para distribuição comparada com a de gasolina, nem é provável que exista em um futuro próximo. O GNC poderia, contudo, ser utilizado em frotas onde os veículos poderiam ser reabastecidos na empresa e operem não muito longe dela.

O GNC implica em mais baixas emissões de CO, em emissões inofensivas de HC, pouca de PAH, e a emissão de NOx é inalterada ou mais baixa e emissões mais altas de formaldeído comparado a gasolina. Para alcançar padrões de emissões da norma americana US 83, seria necessário a utilização de catalisadores. Na Itália existem cerca de 300.000 veículos movidos à GNC, e o seu uso é promovido em alguns países, particularmente na Nova Zelândia e Canadá. Os pré-requisitos para o aumento de sua utilização é o preço que gira em torno de 50% do da gasolina, compensações econômicas para a instalação do equipamento de conversão.

Nos Estados Unidos, segundo o 5º Relatório Anual do Departamento de Energia (1996), a maioria dos ônibus testados até o presente momento com GNC foram protótipos utilizando o motor Cummins L10G que ainda não havia sido certificado *pela Environmental Protection Agency - EPA*. A Cummins tem desenvolvido vários melhoramentos no desempenho do motor para reduzir os níveis de emissões. Versões posteriores deste motor foram certificadas pelo *Califórnia Air Resources Board*. Vários motores L10G usados em ônibus da Cidade de Nova York foram modificados para esta configuração e testados em 1994. Foi feita uma análise comparativa entre os motores movidos a GNC e outros movidos a diesel. Embora os dados sejam

esparços, várias conclusões podem ser apresentadas. O resultado mais óbvio é que emissões de material particulado são reduzidas praticamente a zero em motores movidos a GNC. Este é um fator importante e atrativo deste combustível que reduz a quantidade de fumaça preta despejada na atmosfera.

A Revista EXAME (2000) em uma matéria sobre a conclusão das obras do trecho final do gasoduto de 3150 quilômetros de extensão que liga a Bolívia ao Brasil, coloca que ao contrário do óleo combustível, o impacto do gás natural sobre o meio ambiente é praticamente zero. Por ter combustão limpa, deverá se transformar numa boa opção, por exemplo, para o paulistano que é obrigado a deixar seu carro em casa uma vez por semana, em determinados meses, para reduzir os níveis de poluição da cidade.

3.3.1 A Tecnologia do OH-1623 LG

Segundo Relatório Técnico da Mercedes Benz (1998), após desenvolver e testar o uso do álcool aditivado e do óleo vegetal em motores do ciclo diesel e álcool hidratado em motores Otto, esta optou pelo GMV (Gás Metano Veicular), o único combustível, segundo a empresa, aprovado tanto em termos técnicos como econômicos.

A tecnologia do motor a gás permite a obtenção de baixíssimos índices de emissões gasosas, bastante inferiores aos limites estabelecidos pela fase IV do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Quanto aos materiais particulados, os ônibus a gás da Mercedes-Benz apresentam emissão praticamente iguais a zero.

Além das expressivas reservas internas, o Brasil decidiu adquirir gás natural da Bolívia e da Argentina para ampliar a participação do gás que, em 1990, era 2% da matriz energética brasileira, para 12% em 2010. Segundo a empresa, a disponibilidade do combustível foi fator determinante para o desenvolvimento do chassi a gás.

Diante dessas novas perspectivas, a Mercedes-Benz decidiu aperfeiçoar o seu modelo de ônibus a gás, para torná-lo técnica e economicamente compatível com seu similar movido a diesel. Para isso, optou por um motor da família BR-300, a mesma dos motores diesel. O motor M-366

LAG possui o mesmo estágio de desenvolvimento do diesel e é dotado de um turboalimentador com pós-resfriador do ar de admissão, que assegura uma potência e um torque superiores ao motor diesel OM-366 LA. Veja o comparativo a seguir na Tabela 4:

Tabela 4 - Comparativo entre o veículo a gás e o equivalente a diesel

Veículo	Potência cv/KW	Torque Nm	Relação cv/t
OH-1623 LG (gás)	231/170	720	14,4*
OH-1621 LE (diesel)	211/155	660	13,2

* Considerado o peso adicional dos cilindros de gás

Segundo a empresa, o motor M-366 LAG é um motor de ciclo Otto, com ignição por centelha e com mistura pobre, ou seja, com excesso de ar em relação ao que seria quimicamente necessário para realizar a queima do combustível. Essa tecnologia em conjunto com a turboalimentação de ar com pós-resfriamento, o gerenciamento eletrônico da mistura ar/combustível e o mapeamento digital da ignição permitem obter um melhor rendimento térmico do motor, com baixo nível de emissões e uma maior de potência.

A Mercedes-Benz, continua pesquisando novas tecnologias e já está testando a injeção de gás com gerenciamento eletrônico, capaz de incrementar o atual rendimento térmico com uma melhor aceitação das oscilações de composição do GMV.

3.3.2 Programa para Utilização do Gás Natural nos Ônibus no Município de São Paulo – Histórico

Segundo a SPTrans (2000), a experiência para utilização de gás metano como combustível no Município de São Paulo iniciou-se em 1983, com a celebração do Convênio de Cooperação Técnica entre CMTC, Mercedes-Benz do Brasil, Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT e SABESB. Definiu-se que 10 ônibus seriam adaptados para operar com o sistema bi-combustível (diesel/gás). Na época o gás metano era extraído do lixo e os veículos eram

abastecidos na Estação Compressora do Aterro Sanitário de Santo Amaro. A operação experimental dessa frota se estendeu até 1986 e por decisões políticas, neste ano, o programa de gás foi desativado no Município de São Paulo. No período compreendido entre 1989 à 1991, foram retomadas as experiências na CMTC, com ônibus equipados com motores movidos totalmente a gás (Ciclo Otto) e outros adaptados para operarem com o sistema bi-combustível (Diesel / Gás), sendo testados os seguintes equipamentos:

- 02 motores ciclo Otto cedidos pela MBB;
- 02 motores Ottolizados (Escola de Engenharia de São Carlos – SP);
- 02 motores bi-combustível utilizando sistema RODAGÁS; e
- 02 motores bi-combustível utilizando sistema AFS Canadense.

A partir dos resultados operacionais de desempenho obtidos durante o período de testes com a frota piloto, o motor ciclo Otto foi o que apresentou melhor desempenho operacional. Os veículos eram abastecidos através de carretas-feixe que armazenavam o gás natural proveniente da bacia de Campos – Rio de Janeiro.

No biênio 1991/1992, para continuidade do programa, foram adquiridos 60 carros movidos à GMV, fornecidos pela MBB, equipados com motor aspirado (150 cv). Em contrapartida do programa de parceria, a Petrobrás Distribuidora iniciou a construção do Posto de Abastecimento Água Branca, dimensionado para o atendimento de até 250 veículos, com o objetivo de consolidar e aperfeiçoar o projeto nos seus aspectos relacionados ao material rodante, sistemas de distribuição, compressão e qualidade do gás para uso automotivo.

No período de 1991 a 1993, o desempenho da frota de 1ª geração foi acompanhada pelos técnicos da CMTC, concluindo o seguinte diagnóstico:

- baixa potência, com perda de rendimento em aclives acentuados;
- carbonização com pré-ignição e detonação de alguns motores;
- baixa eficiência do sistema de alimentação; e
- outros problemas em conjuntos periféricos ao motor.

Diante dessas avaliações, foram adotadas em parceria com a Petrobrás e Mercedes-Benz, algumas providências a fim de dar encaminhamento à solução dos problemas identificados como relevantes na operacionalização do programa, quando em conjunto com os parceiros definiu-se as seguintes atividades:

- desenvolvimento de um novo óleo lubrificante;
- especificação da composição GMV;
- descarbonização dos motores;
- desenvolvimento de um novo “kit” para o sistema de alimentação; e
- instalação de filtros nas unidades compressoras para retenção de óleo.

Em 1993, a CMTC deixou de ser empresa operadora, dedicando-se exclusivamente a gestão do transporte coletivo do Município de São Paulo.

No entanto, para que o desenvolvimento tecnológico do programa de gás natural não sofresse solução de continuidade, foi firmado um Convênio de Cooperação Técnica entre a São Paulo Transporte S.A. – SPTrans, sucessora da CMTC, Mercedes-Benz, Petrobrás Distribuidora e a Cooperativa Comunitária de Transportes Coletivos – CCTC, administrada por antigos funcionários da CMTC e responsável pela operação da frota movida a gás do Município de São Paulo, utilizando a infra-estrutura e os veículos de propriedade da empresa pública. Em 1995, a Mercedes-Benz com base nas avaliações e conclusões feitas acerca do desempenho dos motores, iniciou o desenvolvimento de um motor de 2ª geração, equipado com turbo compressor e pós resfriador, alcançando uma potência de 232 CV.

Para todo e qualquer desenvolvimento, os protótipos sempre são testados na operação comercial da CCTC e acompanhados por técnicos da Mercedes-Benz, SPTrans e Petrobrás. Na Tabela 5, abaixo, estão demonstradas as diferenças entre os motores de 1ª e 2ª geração:

Tabela 5 - Comparativo entre motores de 1ª e 2ª geração

DESCRIÇÃO DO MOTOR	1ª Geração M 366 G	2ª Geração M 366 LAG
ALIMENTAÇÃO	Aspirado	Turbo com pós resfriador
POTÊNCIA	150cv	232cv
TORQUE MÁXIMO	420 Nm	720 Nm
IGNIÇÃO	Vela/Bobina/Distribuidor	Eletrônica

Fonte: SPTrans/2000

Em 24 de janeiro de 1991, foi promulgada a Lei municipal nº 10.950, determinando que as empresas concessionárias ou permissionárias de transporte coletivo na cidade de São Paulo,

deveriam substituir os ônibus ou motores à óleo diesel por outros movidos à Gás Natural num prazo de 10 anos.

Essa lei não produziu o efeito necessário, pois não previa uma programação de conversões ao longo do tempo; os motores e equipamentos estavam em início de desenvolvimento, havia dificuldade na logística de distribuição do gás natural e falta de garantias em relação à qualidade e quantidade de combustível.

Em 05 de julho de 1996, com o cenário tecnológico favorável, foi promulgada no Município de São Paulo, a Lei nº 12.140, que alterou a redação da Lei anterior, prevendo então uma programação de conversões ao longo do tempo do combustível, de 5% nos dois primeiros anos e 10% nos subseqüentes.

Para regulamentar essa Lei, foi publicado em 07 de agosto de 1996, o Decreto nº 36.296, que em seu artigo 1º cria o Plano de Alteração de Combustível – PAC, atribuindo à SPTrans a elaboração e coordenação do Programa, em articulação com a Secretaria do Verde e do Meio Ambiente – SVMA. Em 12 de agosto de 1996, a SPTrans através do Comunicado da Presidência nº 029/96, criou um Grupo de Trabalho para elaboração do PAC.

Para definir a frota alvo da primeira fase do PAC, foram adotados alguns critérios como quantidade de veículos por lote (lote econômico de 100 veículos), renovação da frota e a distância das garagens à rede de gás.

Na primeira fase do PAC, foram emitidas ordens de serviço para as empresas Viação Santa Madalena e Gatusa, definindo que cada uma colocasse em operação 65 veículos.

Houve atraso na implantação desta fase, devido a várias dificuldades encontradas, sendo que algumas já foram solucionadas. A seguir, estão descritas as principais dificuldades:

- atraso no fornecimento de veículos;
- ausência de normatização do gás natural;
- dificuldade de obtenção de recursos financeiros;
- restrições quanto à qualidade do gás distribuído;
- longo prazo para execução da rede de dutos e estações de compressão;
- preço do veículo, custos do combustível e do lubrificante;
- incompatibilidade dos prazos dos contratos das operadoras com a SPTrans, em relação aos prazos dos contratos das distribuidoras e agentes financeiros.

Estão em operação no Município de São Paulo 243 veículos divididos conforme a geração dos motores instalados. Na Tabela 6, a seguir, é apresentada a quantidade de veículos por empresa:

Tabela 6 - Quantidade de veículos por empresa

FROTA DE 1ª GERAÇÃO (MOTORES COM 150CV)	
EMPRESA	QUANTIDADE
CCTC	56
VIAÇÃO JARAGUÁ	72
TOTAL	128
FROTA DE 2ª GERAÇÃO (MOTORES COM 232CV)	
EMPRESA	QUANTIDADE
CCTC	19
V.SANTA MADALENA	32
GATUSA	65
TOTAL	116
TOTAL GERAL	244

Fonte: SPTrans/2000

Tomando como referência o ano de 1998, a frota de 1ª Geração apresentou os seguintes indicadores:

Tabela 7 - Desempenho

EMPRESA	QUANTIDADE DE VEÍCULOS	QUILOMETRAGEM	CONSUMO DE COMBUSTÍVEL (M³)	DESEMPENHO KM/M³
CCTC	61	3.571.335	1.872.616	1,91
Viação Jaraguá	72	4.133.316	2.110.336	1,96
TOTAL	133	7.704.651	3.922	1,94*

*Média Ponderada de Desempenho Frota 1ª Geração

Tabela 8 - Confiabilidade

EMPRESA	QUILOMETRAGEM	QUANTIDADE DE FALHAS	CONFIABILIDADE (MKBF)
CCTC	3.571.335	2.664	1.341
Viação Jaraguá	4.133.316	1.258	3.286
TOTAL	7.704.651	3.922	2.394*

*Média Ponderada de Confiabilidade

Principais falhas da frota 1ª geração:

- pneus;
- motor;
- sistema elétrico;
- sistema de suspensão;
- sistema de freio; e
- sistema de embreagem.

Conforme estabelecido pelo Convênio de Cooperação Técnica e para ensejar o cumprimento da Lei que prevê acréscimo ou redução da percentagem de conversão ou substituição, o desempenho dessa frota é constantemente monitorado, objetivando a realização de avaliações técnico/operacionais.

No período compreendido entre agosto de 1997 e maio de 2000, a frota movida a gás de 2ª geração apresentou os seguintes indicadores:

Tabela 9 - Desempenho

EMPRESA	QUANTIDADE DE VEÍCULOS	QUILOMETRAGEM	CONSUMO DE COMBUSTÍVEL (M³)	DESEMPENHO KM/M³
Gatusa	65	5,447,257	3.246.145	1,68
Sta Madalena	32	2.652.501	1.660.950,4	1,60
CCTC	19	1.619.876	88.503,6	1,84
TOTAL	116	9.719.634	5.787.599	1,67*

*Média Ponderada de Desempenho Frota 2ª Geração

Custos envolvidos no programa – Investimentos:

- custo de adaptação da garagem: R\$ 350.000,00;
- custo da estação de compressão: R\$ 1.500.000,00;
- custo do metro linear da rede de distribuição: R\$ 20,00 x Diâmetro (em polegadas); e
- custo do veículo OH – 1623 LAG: R\$ 148.540,28.

Tabela 10 - Comparativo de custos entre veículos a gás e diesel

DIESEL (R\$)	GÁS NATURAL (R\$)	DIFERENÇA (%)
105.031,67	148.540,28	+ 41%

Base: Jan/2000

Tabela 11 - Custo de combustível

COMBUSTÍVEL	CONSUMO DE COMBUSTÍVEL	PREÇO (R\$)	CUSTO (R\$/KM)	DIFERENÇA (%)
Diesel (l)	0,555 l/km	0,6444	0,3576	-----
Gás (m ³) 2ª Ger.	0,588m ³ /km	0,4942	0,2906	-23

Tabela 12 - Custo do lubrificante

COMBUSTÍVEL	CONSUMO DO LUBRIFICANTE (L/KM)	PREÇO (R\$)	CUSTO (R\$/KM)	DIFERENÇA (%)
Diesel (l)	0,0030	2,40	0,0072	-----
Gás (m ³)	0,0036	7,80	0,02808	+ 390

A Engenharia da SPTrans está avaliando o desempenho da frota movida a gás natural de 2ª geração, analisando o consumo de combustível, tempo médio de abastecimento, desgaste de componentes como lonas de freio, embreagem, pneus e a confiabilidade desses veículos.

Com os resultados obtidos mensalmente, sistematicamente estão sendo realizadas reuniões técnicas entre as empresas envolvidas no programa, como Mercedes-Benz, Petrobrás Distribuidora, Shell, SPTrans e empresas operadoras, objetivando solucionar falhas existentes,

típicas de um veículo recentemente lançado no mercado e outros decorrentes do baixo desempenho do veículo.

Convém lembrar que técnicos da Mercedes-Benz em conjunto com a CCTC e a SPTrans, estão realizando testes com um motor movido a gás, equipado com injeção eletrônica de combustível, com a finalidade de melhorar o desempenho dos atuais motores com conseqüente redução do consumo de combustível e poluentes, problema identificado no acompanhamento técnico da frota.

Para a emissão das ordens de serviço relativas à terceira fase do Programa de Alteração de Combustível – PAC, foram avaliadas a localização de todos os lotes do sistema, objetivando considerar o limite máximo de 4.500 metros entre a rede de distribuição e a garagem.

Esta distância, segundo as Distribuidoras, é o ponto de equilíbrio do investimento, a partir do qual este passa a ser economicamente inviável. Para que esta barreira não se transforme em um impeditivo para a continuidade do programa, está sendo realizado estudo conjunto com as empresas envolvidas, buscando alternativas técnico/econômicas para a distribuição do gás combustível, como por exemplo, o processo de criogenia e carretas-feixe equipadas com compressores.

3.4 Álcool Etilico Anidro Carburante – AEAC

Segundo a TECPAR (1999), a adição do AEAC ao óleo diesel propicia tanto uma redução média no tamanho da cadeia de hidrocarbonetos (o que por si só já reduziria a formação de material particulado – MP), como também a oxigenação do combustível. A oxigenação do óleo diesel mediante a adição do álcool, propicia a queima do carbono que se forma em ciclos transientes, onde a relação ar/combustível fica prejudicada. Isto é especialmente válido, no caso de motores turbo alimentados, para regimes transientes onde a potência e a rotação do motor são baixas, havendo portanto, limitações no fornecimento de ar, e havendo concomitantemente a exigência da maior potência possível, tal como no caso de arrancadas. Neste caso, o ar é mínimo e a alimentação de diesel é máxima. A deficiência de ar provoca a formação de carbono livre ou

“coque”, formando a conhecida fumaça negra. Assim, como estratégia de melhoria de qualidade ambiental aliada a promoção do Programa Nacional do Álcool – PROÁLCOOL, que sabidamente possui enorme impacto ambiental e também sócio-econômico para o Brasil, o roteiro a ser seguido seria primeiramente implementar a mistura Álcool/Diesel nas frotas cativas do transporte urbano, seguida de uma possível extensão para uso geral da mistura. Finalmente, é importante mencionar que os benefícios da mistura Álcool/Diesel não se limitam a proporcionar uma redução nas emissões atmosféricas, que promoveria considerável redução dos níveis de poluição nos grandes centros urbanos, assim tendo influência direta na qualidade de vida e bem estar da população, mas reduziria de imediato as importações de petróleo e óleo diesel, economizando divisas que poderiam ser aplicadas no desenvolvimento tecnológico em áreas associadas. Ainda seria ampliado o mercado interno e potencializada a abertura de mercado externo para o álcool, promovendo efetivamente o PROÁLCOOL, e finalmente apresentaria um enorme benefício social com a geração de empregos diretos e indiretos, não somente no setor da agroindústria da cana-de-açúcar, mas também na agroindústria da soja, já que o aditivo cosolvente AEP 102 é um produto derivado diretamente desta oleaginosa.

3.4.1 Definição e Preparação da Mistura Álcool / Diesel / AEP 102

A Mistura Álcool / Diesel / AEP 102 é, do ponto de vista físico-químico, uma solução, límpida, homogênea, com características visuais e físico-químicas muito semelhantes ao óleo diesel puro. É formada pelo fenômeno da cosolvência, ou seja, a interação entre o óleo diesel e o álcool é proporcionada e mantida pelo aditivo cosolvente, denominado comercialmente de AEP 102. Este é derivado diretamente do óleo de soja e tem uma molécula suficientemente longa com uma extremidade apolar, que por similaridade interage com o diesel, e outra extremidade que comporta o centro reativo da molécula, portanto polar, que por forças eletrostáticas forma pontes de hidrogênio com a hidroxila do etanol. Esse fenômeno mantém a estabilidade da mistura até um ponto crítico, determinado por uma temperatura mínima e um teor máximo de água admissível. Com a redução da temperatura, mantendo-se fixo o teor da água, as interações (também pontes de

hidrogênio) entre o cosolvente e o óleo diesel enfraquecem e a mistura água / etanol se separa “quebrando” a solução antes homogênea.

Por outro lado, a mistura pode absorver certo teor de água, em função da higroscopicidade do etanol, sem que haja separação. Contudo, há um limite máximo de água, que a partir de tal ocorre a separação, pelo rompimento da ligação entre o etanol e o cosolvente. O ponto crítico da mistura foi determinado experimentalmente para várias proporções entre óleo diesel, etanol e cosolvente. O aditivo cosolvente AEP 102 é um derivado direto do óleo de soja, obtido por processamento químico, apresentando características ambientais favoráveis, por ser biodegradável e ter efeito positivo no balanço global das emissões atmosféricas. Também apresenta propriedades importantes para a utilização em combustíveis, pois permite a formação de uma solução relativamente estável entre o óleo diesel e o etanol, é lubrificante e tem elevado número de cetano, tendo potencialidade de minimizar a queda deste parâmetro na mistura Álcool / Diesel, ocasionada em função da inclusão do etanol.

A preparação da mistura não requer qualquer sofisticação tecnológica para efeito de mistura ou homogeneização, podendo ser adotado o mesmo processo de “mixer estático” em uso para mistura de álcool (AEAC) à gasolina. Pelo princípio descrito, o AEAC seria aditivado com o AEP 102 na Usina de origem do álcool, e depois conduzido a base de preparação e distribuição de combustíveis ou ao *pool* de distribuidoras para compor-se com o óleo diesel.

Num sistema de fluxo contínuo (em linha), seria adicionado AEAC aditivado ao óleo diesel no momento do carregamento, quer de um caminhão tanque ou de um tanque de estocagem. Este procedimento diminuiria significativamente os custos de instalações e operacionais nas bases ou no *pool* de distribuição.

3.4.2 Emissões de fumaça

Os testes de campo avaliaram a opacidade, propriedade que caracteriza a obstrução da passagem de um feixe de luz ao atravessar uma pluma de fumaça, e o grau de enegrecimento dos gases de escapamento, medido através da leitura da reflectância de filtros expostos a passagem

dos gases de escapamento do veículo monitorado. A determinação da opacidade foi realizada com um opacímetro de fluxo total, enquanto o grau de enegrecimento foi avaliado através de um medidor de fumaça Bosch com elemento filtrante e análise ótica.

As emissões foram medidas tanto com o uso do óleo diesel metropolitano puro quanto da mistura Álcool / Diesel. Cada veículo foi submetido a duas séries de medições. Para a primeira série foram executadas três sub-séries com três medições cada, totalizando nove corridas por combustível (nove para o diesel e nove para a mistura), por veículo. Cada corrida foi composta por três medições de opacidade e uma medida aritmética do índice Bosch. No total foram executadas 162 medições de opacidade e 54 medições do índice Bosch. Os procedimentos seguiram a metodologia de avaliação normalmente utilizada pela URBS; com os veículos em movimento, em via de aclive, foram anotados, em cada série de medição, os valores para opacidade no pé, meio e topo do aclive e valor para grau de enegrecimento no meio do aclive.

3.4.3 Parâmetros de emissões

Primeiramente nota-se que todos os parâmetros avaliados são alterados proporcionalmente a redução do teor de etanol (11,2 para 8,0%), principalmente a redução no teor de HC totais, que embora fique num percentual acima quando comparado ao diesel, favorece em muito a mistura com 8,0% de etanol, ainda mais considerando a incerteza do método de determinação que é de +/- 2,0%. O teor de CO cai para valores abaixo dos encontrados para o diesel e o consumo também é reduzido significativamente. Nota-se que o teor de fuligem ainda é reduzido drasticamente.

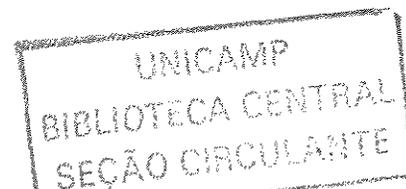
Os principais parâmetros para avaliação de emissões em motores ciclo Diesel são fuligem, NO_x e Material Particulado, que são reduzidos significativamente em relação ao diesel. Os resultados indicados são para ensaio com plena carga, com as regulagens do sistema de injeção para diesel, que é a condição de operação em campo. Para baixas rotações observa-se que a redução de fuligem (fumaça negra) atinge valores acima de 30%; considerando que a frota de ônibus urbano opera na maior parte do tempo a baixas rotações, esse parâmetro tem grande

significância. O pequeno aumento no teor de HC se deve, de forma simples, a característica de queima do etanol na câmara de combustão. A incerteza do método é de cerca de 2%, e mais importante, CO e HC são considerados poluentes tipicamente de motores ciclo Otto.

Analisando-se os dados de forma global, em especial o teor de HC que é reduzido em cerca de 50%, a mistura com um teor de 8,0% de etanol mostra-se mais adequada. As reduções de CO₂ podem chegar a 2% conforme os valores medidos.

3.5 Biodiesel

O Biodiesel pode ser produzido através de alguma planta, ou produtos derivados de animal. A mistura biodiesel usada nos ônibus teste foi de 20% biodiesel para 80% de diesel. Durante o programa do Laboratório Nacional de Energia Renovável (1996), o biodiesel encontrou um problema que levou a excluir a maioria destes dados da análise detalhada. O biodiesel e o diesel foram misturados no tanque e agitados com uma bomba. Depois de poucos dias, inúmeros problemas ocorreram como o entupimento dos filtros por contaminações que foram removidas do fundo do tanque. Outros problemas adicionais foram descobertos: o fornecedor do combustível estava misturando uma parte de biodiesel para cinco partes de diesel ao invés de uma parte para quatro. Infelizmente estes problemas impediram a obtenção de dados suficientes para conduzir uma manutenção detalhada e análise segura. Só foi incluída as informações que foram julgadas seguras para a análise.



4 O ESTUDO DO IPEA

4.1 Objetivo

O estudo teve início em 1997, abrangendo 10 cidades brasileiras, entre elas Curitiba. A rede composta apresenta características variáveis em relação às dimensões das cidades, às suas infra-estruturas viárias, à renda média da população e às condições gerais de trânsito e transporte. Estas variações cobrem um amplo espectro de condições, permitindo uma apreciação rica sobre os atuais níveis de congestionamento das vias.

O objetivo do estudo abrangeu as deseconomias relacionadas ao congestionamento, estando diretamente ligadas ao tempo de percurso, ao consumo de combustíveis, à emissão de poluentes e ao custo operacional do sistema de ônibus.

Para o trabalho em questão será utilizado os dados colhidos, como instrumento de comparação para possíveis conclusões.

4.2 Análise de preenchimento e consistência dos dados

A análise do preenchimento teve como objetivo corrigir eventuais falhas de anotações, como por exemplo o não preenchimento de um determinado trecho ou período. Os dados foram analisados quanto a sua consistência e se procurou identificar possíveis valores estranhos que

denotassem erros de preenchimento, recolhimento em campo ou cálculo. Para tanto, as tabelas com os dados foram dispostas apropriadamente, a saber:

- *Volumes de tráfego*: os dados foram ordenados por rota/posto/sentido, em ordem crescente de horário, começando às 06:30 e terminando às 19:00 horas. Esta ordenação permite a identificação imediata do padrão de flutuação dos volumes ao longo das horas. Permite igualmente comparar os volumes horários de autos, ônibus e caminhões, que normalmente são decrescente nesta ordem.
- *Ocupações*: as ocupações médias de autos e ônibus foram ordenadas da mesma maneira, procurando-se identificar os padrões de flutuação horária e a amplitude dos valores.
- *Tempos de percurso e retardamentos*: a mesma ordenação horária permite verificar a variação do tempo de percurso, em si e frente à variação dos volumes de tráfego.

4.3 Tabulações Básicas

As primeiras tabulações foram feitas para retratar as características principais do trânsito na rede viária pesquisada. Os dados foram separados em tabelas que compuseram um banco de dados para volumes de tráfego, ocupações, tempos de percurso, retardamentos e velocidades. A partir destes dados foi possível levantar valores para índices de desempenho geral do trânsito, tempo gasto por passageiro/hora, extensão da malha sob congestionamento, retardamento, consumo de combustível e emissão de poluentes.

4.4 Definição Teórica de Congestionamento

O volume de tráfego por hora em uma pista varia, além da demanda, com a velocidade. Na medida em que esta aumenta, o fluxo também aumenta até determinado ponto onde a

velocidade é ótima e o volume máximo, ou seja, atinge-se a capacidade. A partir deste ponto, na medida em que a velocidade aumenta, o fluxo tende a diminuir. Supondo um certo número de veículos que demandam uma via e conhecendo-se sua capacidade, se o número de veículos for superior a esta haverá um congestionamento.

O congestionamento é um fenômeno que comporta várias definições. A sua imagem mais popular – uma grande quantidade de veículos circulando lentamente – é apenas uma das formas de identificação, pela evidência visual do fenômeno. Mas, na realidade, se existir um trecho de via qualquer com um veículo circulando, só a entrada de um segundo veículo já implica em mudança de comportamento do primeiro, podendo eventualmente causar-lhe uma redução (mesmo ínfima) da velocidade ou da facilidade de manobra na via. Esta situação acaba não sendo usada como definição do início do congestionamento, pois levaria à conclusão (praticamente inócua) de que todas as vias estão congestionadas na maior parte do tempo.

4.5 Critério para expansão do congestionamento da hora de pico

Como as pesquisas foram feitas em algumas horas do dia, foi necessário expandir os dados para chegar aos seus valores anuais. Esta expansão foi feita em duas etapas. Primeiro, os dados das horas pesquisadas foram expandidos para o dia todo; segundo, os dados assim obtidos foram expandidos para o ano. Foram expandidos apenas os dados referente ao congestionamento. Neste caso, assumiu-se que todo o congestionamento está contido dentro do horário coberto pela pesquisa – das 06:00 às 20:00 horas. Obtidos estes valores, foi feita a expansão para o ano. Para realizar a expansão, foram obtidos coeficientes representativos das condições médias de algumas cidades da rede. Para Curitiba, com 07 horas de pesquisa, foi introduzido um fator multiplicativo igual a 8/7, seguindo depois o mesmo roteiro de cálculo.

O coeficiente para estimar os valores das 24 horas de um dia útil a partir do valor de 8 horas na Cidade de Curitiba para ônibus foi: 1º passo: de 7 para 8 horas: 1,14 e de 8 para 24 horas: 1,18.

É importante ressaltar que no caso dos tempos de percurso dos ônibus, os coeficientes são menores que os dos autos pois assumiu-se que a ocupação média dos ônibus cai nas demais horas.

Embora no sábado e no domingo observe-se volumes razoáveis, em alguns horários bem próximos aos dos dias úteis, os níveis de congestionamento são menores. Nas férias também se verificam quedas significativas de congestionamentos. A Tabela 13 a seguir representa uma estimativa que mostra, ao final, cerca de 250 dias úteis equivalentes por ano.

Tabela 13 - Estimativa de dias equivalentes para efeito de congestionamento

Tipo de Dia	Número	Peso	Nº Equivalente
Dias Úteis Normais	172	1	172
Dias Úteis Férias	60	0,6	36
Sábados	52	0,5	26
Domingos	81	0,2	16,2
TOTAL	365		250,2

Fonte: IPEA/98

4.6 Consumo de Combustível

Foram analisados os dados de estudos nacionais e internacionais, tendo-se definido duas equações que relacionam o consumo de combustível (gasolina e diesel) com a velocidade, a partir do Manual de Avaliação Econômica da EBTU para o projeto BIRD-IV. A equação definida para ônibus movido a óleo diesel é:

$$C = 0,44428 + 0,00008V^2 - 0,00708V + 1,37911/V + 0,00107carr$$

Onde:

V = velocidade Km/h

Carr = carregamento (sentado + em pé no ônibus)

C = consumo (l/km)

4.7 Emissão de Poluentes

Conforme descrito no relatório sobre experiências internacionais, os coeficientes de emissão de poluentes por veículos automotores variam muito em função das condições dos combustíveis e dos veículos.

A revisão da literatura internacional feita no relatório citado mostrou, no entanto, que as diferenças entre os vários estudos não são muito elevadas e que a relação mais importante – velocidade e emissão – apresenta características semelhantes em todos os estudos.

Os estudos concentram-se em quatro poluentes prejudiciais a saúde:

- CO – monóxido de carbono;
- HC – hidrocarbonetos;
- NO_x – óxidos de nitrogênio; e
- MP – material particulado.

Estes poluentes são emitidos por veículos à gasolina e à diesel, gerados por suspensão de partículas causadas pelo tráfego, ou causados por evaporação, em quantidades que dependem das condições do motor, do combustível e do tráfego.

No caso dos automóveis, a Cia. de Tecnologia de Saneamento Ambiental – Cetesb, do Estado de São Paulo, realizou no final da década de 80 um teste de laboratório para verificar a variação das emissões de veículos a gasolina e álcool em dois patamares de velocidade: 31,5 km/h e 19 km/h (MURGEL E SZWARC, 1989). A primeira velocidade é a adotada em estudos norte-americanos e foi considerada na legislação brasileira como representando as condições urbanas brasileiras não congestionadas. A segunda velocidade foi adotada como representativa de um ciclo de acelerações/desacelerações típico de situações congestionadas. Os testes mostraram o que normalmente se verifica em estudos semelhantes, ou seja, o aumento das emissões de CO e HC e a diminuição das emissões de NO_x à medida que a velocidade média diminui. Os resultados finais podem ser vistos na Tabela 14:

Tabela 14 - Fatores de emissão de veículos a gasolina e a álcool para velocidades médias de 31,5 km/h e 19 km/h.

Combustível	Velocidade (km/h)	Emissão (g/km)		
		CO	HC	NOx
Gasolina	31,5	40,5	3,8	1,4
	19,0	50,6	4,6	1,2
	Aumento (%)	25,0	21,0	-14,0
Álcool	31,5	18,8	1,6	1,1
	19,0	23,5	1,9	0,9
	Aumento (%)	25,0	19,0	-18,0

Os dados foram utilizados para definir as variações percentuais das emissões em função da velocidade. Para chegar à curva final de relação consumo-velocidade, foi feita uma extrapolação utilizando os padrões de variação do estudo de JOURMARD (1991) (automóveis), feito pelo Instituto Francês INRETS e considerando os dois pontos notáveis pesquisados pela Cetesb (mostrados acima). Foram definidas três equações que relacionam as emissões de CO, NOx e HC com a velocidade. Como os dados da Cetesb referiam-se a época anterior – quando os veículos nacionais emitiam mais poluentes por quilômetro rodado – a relação definida anteriormente foi ajustada para refletir a redução nas emissões do veículo médio em circulação no país. Para este efeito, foram utilizadas as estimativas mais recentes da Cetesb, referente aos coeficientes de emissão de CO, NOx e HC para o veículo médio da cidade de São Paulo (CETESB, 1994). No caso dos ônibus a diesel, foram obtidas quatro equações pois neste caso a emissão de particulados é relevante.

$$HC (g/km) = 14,14 - 3,67 \ln V$$

$$NOx (g/km) = 37,21 - 6,46 \ln V$$

$$CO (g/km) = 43,34 - 8,98 \ln V$$

$$Particulados (g/km) = 1,74 - 0,32 \ln V$$

4.8 Custo da Poluição Ambiental

O valor monetário da poluição ambiental é bastante complexo, pois além de demandar estudos relativos aos reflexos da poluição sobre o ser humano (que varia de acordo com o clima, altitude, dispersão, regime de ventos, relevo, etc.) também apresenta uma mescla de efeitos das várias fontes de poluição.

Para se ter uma aproximação foram usados os custos advindos da poluição, elaborados por várias fontes. Os valores originais, expressos em U\$/kg de emissão, foram transformados em reais pelo coeficiente 1,24. Como estes valores refletem os custos das sociedades européias e norte-americana – e na ausência de estudos específicos sobre as condições brasileiras, estes foram reduzidos segundo a relação aproximada das rendas per-capita brasileira e norte-americana (1:5).

Os valores finais adotados são:

$$\text{CO} = \text{R\$ } 0,19/\text{kg}$$

$$\text{HC} = \text{R\$ } 1,14/\text{kg}$$

$$\text{NO}_x = \text{R\$ } 1,12/\text{kg}$$

$$\text{Partículas} = \text{R\$ } 0,91/\text{kg}$$

5 O ESTUDO DO LABORATÓRIO NACIONAL DE ENERGIA RENOVÁVEL

O Laboratório Nacional de Energia Renovável – NREL é um laboratório fundado pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos.

Uma das missões do NREL é avaliar o desempenho e os custos operacionais dos veículos que utilizam combustíveis alternativos. Os combustíveis alternativos têm feito mais avanços dentro do mercado de ônibus de transporte do que dentro de qualquer outro mercado. A cada ano, a Associação Americana de Transporte Público – APTA inspeciona seus membros em suas invenções e aquisição de projetos. Os mais recentes dados da APTA mostram que os ônibus representam uma das melhores aplicações para utilização de combustíveis alternativos. Aproximadamente 4% dos mais de 50.000 ônibus inspecionados pela Associação de Transporte Público Americano utilizaram um combustível alternativo como etanol, metanol, gás natural comprimido ou gás liquefeito de petróleo. E mais: um de cada cinco ônibus encomendado é um veículo de combustível alternativo. Estes números não incluem ônibus elétricos.

O programa envolveu uma coletânea detalhada de dados operacional e de manutenção para mais de 100 ônibus de oito empresas de transporte através do país. Uma meta do programa era ter 10 ônibus teste para cada tipo de combustível alternativo, com 10 verificações dividido entre duas empresas, operando durante 18 meses. A Universidade do Oeste da Virgínia utilizou um aparelho conhecido como dinamômetro para medir as emissões. Os locais e os ônibus com combustíveis alternativos envolvidos no programa foram:

- *Houston Metro em Houston , Texas:* 10 ônibus de gás natural liquefeito (GNL) com ignição piloto Detroit Diesel 6V92 e motor a gás natural.

- *Tri-Met, em Portland, Oregon:* 8 ônibus GNL com motores Cummins L10 e fâisca de ignição.
- *Metro Dade, em Miami, Flórida:* 5 ônibus movidos a metanol com motores Detroit Diesel 6V92 e 5 ônibus movidos a GNC com motores Cummins L10.
- *Triboro em New York, New York:* 5 ônibus movidos a metanol com motores Detroit Diesel 6V92 e 5 ônibus GNC com motores Cummins L10.
- *Pierce Transit em Tacoma, Washington:* 10 ônibus GNC com motores Cummins L10.
- *Metropolitan Transit Commission, Minneapolis/St.Paul, Minnesota:* 5 ônibus etanol com motores Detroit Diesel 6V92.
- *Bi-State em St. Louis, Missouri:* 5 ônibus com a mistura de 20% biodiesel com motores Detroit Diesel 6V92.
- *Greater Peoria Transit em Peoria, Illinois:* 5 ônibus etanol com motores Detroit Diesel 6V92.

Os motores de combustíveis alternativos neste programa têm apenas poucos anos de desenvolvimento contra décadas de tecnologia do motor diesel, contudo os resultados mostraram que estes veículos estão competindo muito bem em muitas áreas, como segue:

- **Confiabilidade do Veículo:** As chamadas observadas por 1.000 milhas de operação constitui uma medida de confiabilidade de um ônibus. Uma chamada é definida como um evento que impede um motorista de completar sua rota e resulta em uma troca de veículo. O programa estudou chamadas totais e aquelas atribuíveis só a componentes de sistema de combustível/motor – as áreas que mais foram afetadas pelo uso do combustível alternativo. O número de chamadas para o sistema de combustível/motor nos ônibus GNC de Tacoma é o mesmo que dos ônibus a diesel. A maioria das outras cidades mostram falta de segurança, mas em muitos casos as causas ou são relativamente menores (os ônibus ficam sem combustível porque o motorista não é familiarizado com o veículo) ou são solucionáveis (problemas com os filtros de óleo por causa da qualidade dos álcoois locais)
- **Custos Operacionais:** os ônibus são em grande parte dirigidos pelo custo do combustível. As diferenças do custo do combustível versus diesel são mais importantes que algumas diferenças em custos de manutenção entre os ônibus com combustível alternativo e diesel. Os custos operacionais são mais baixos para os ônibus GNC que são aproximadamente iguais aos custos

operacionais do diesel. Os custos operacionais são mais altos para os ônibus a álcool ou a biodiesel por causa dos altos preços dos combustíveis.

- Custos de Capital: consiste de um custo extra para comprar um ônibus de combustível alternativo, e o custo extra para modificar as instalações do combustível, serviço e manutenção. Os custos de capital são mais altos para os ônibus GNC e GNL e os mais baixos para os ônibus a álcool e biodiesel, o contrário dos custos operacionais. No futuro, os preços dos motores de combustíveis alternativos devem diminuir com o aumento do volume. No presente, nenhum combustível alternativo combina um custo operacional baixo com um baixo custo de capital.
- Emissão dos Veículos: são medidos por um dinamômetro transportável no chassi usando o ciclo dirigível CBD. O ônibus a gás natural e álcool mostraram ter um potencial mais baixo de emissões de material particulado (PM) e Óxido de Nitrogênio (NOx). Com o gás natural as emissões de PM foram virtualmente eliminadas. Os resultados dos testes também mostraram alta variabilidade nos resultados das emissões para os veículos de combustível alternativo. Esta probabilidade resulta na imaturidade relativa da tecnologia e dos diferentes requisitos de manutenção dos motores de combustível alternativo. Testes de emissões, mostraram reduções substanciais em veículos com altas emissões depois de ajustados e da substituição de peças. As tecnologias do diesel e combustíveis alternativos têm mudado substancialmente desde que iniciados os testes de emissão. A mais nova geração de motor GNC frequentemente apresentam ciclo de controle de regeneração do ar combustível, que deve reduzir a variabilidade entre motores. Os mais novos motores diesel são eletronicamente gerenciados e têm baixas emissões de MP para encontrar os mais recentes padrões do EPA - *Environmental Protection Agency*.

As tabelas de 15 a 30 mostram os resultados dos testes de emissões medidos pelo 5º Relatório Anual do Programa Federal de Motores movidos a Combustíveis Alternativos (1996):

Tabela 15 - Ônibus CNG – Cummins L10-240G – ano 1991 – Miami, FL

NÚMERO DO VEÍCULO	ÔNIBUS	DATA DO TESTE	ODÔMETRO	MP (g/km)	NOx (g/km)	HC (g/km)	CO (g/km)
MDTA-9201	FLX	26/01/94	10000	0,00	17,03	8,89	28,65
MDTA-9202	FLX	28/01/94	9018	0,00	16,10	5,16	1,31
MDTA-9202	FLX	18/02/95	39670	0,00	10,63	9,01	0,37
MDTA-9203	FLX	26/01/94	7004	0,00	24,92	6,22	0,62
MDTA-9204	FLX	27/01/94	36973	0,00	18,02	10,88	25,73
MDTA-9204	FLX	20/02/95	52182	0,01	22,19	43,63	10,44
MDTA-9205	FLX	03/02/94	7944	0,01	17,28	5,78	1,49
MÉDIA				0,00	18,02	12,80	9,80

Tabela 16 - Ônibus CNG – Cummins L10-240G – ano 1992 – Tacoma, WA

NÚMERO DO VEÍCULO	ÔNIBUS	DATA DO TESTE	ODÔMETRO	MP (g/km)	NOx (g/km)	HC (g/km)	CO (g/km)
PT-478	BIA	12/08/94	104000	0,00	16,66	5,72	22,25
PT-478	BIA	04/07/95	160000	0,00	27,53	5,47	14,17
PT-479	BIA	05/08/94	109010		13,05	4,60	7,15
PT-479	BIA	05/07/95	170000	0,00	16,97	4,35	2,24
PT-480	BIA	09/08/94	96730	0,01	21,57	5,34	22,62
PT-480	BIA	06/07/95	150000	0,02	28,65	6,53	25,30
PT-481	BIA	11/08/94	100800	0,00	12,99	6,96	20,94
PT-481	BIA	07/07/95	150000	0,00	24,11	10,50	17,59
PT-482	BIA	15/08/94	108654	0,00	12,80	3,73	2,49
PT-482	BIA	08/07/95	160000	0,00	14,42	4,79	0,50
MÉDIA				0,00	18,88	5,79	13,52

Tabela 17 - Ônibus CNG – Cummins L10-260G – ano 1993 – New York, NY

NÚMERO DO VEÍCULO	ÔNIBUS	DATA DO TESTE	ODÔMETRO	MP (g/km)	NOx (g/km)	HC (g/km)	CO (g/km)
CBC-4903	TMC	09/12/94	8517	0,02	12,99	9,26	0,37
CBC-4903	TMC	25/07/95	18872	0,00	7,46	13,30	0,93
CBC-4904	TMC	20/11/94	6764	0,02	5,72	5,90	0,25
CBC-4904	TMC	25/07/95	18666	0,00	8,83	8,51	5,41
CBC-4907	TMC	29/11/94	9048	0,00	6,90	9,63	0,50
CBC-4907	TMC	26/07/95	20091	0,00	3,36	10,38	0,50
TBCC-2051	TMC	17/11/94	5223	0,03	4,29	10,38	0,37
TBCC-2051	TMC	24/06/95	10871	0,03	2,86	14,98	0,50
TBCC2054	TMC	19/11/94	2774	0,02	12,68	7,27	0,31
TBCC-2054	TMC	23/06/95	11993	0,01	9,63	10,25	0,56
MÉDIA				0,01	7,47	9,99	0,97

Tabela 18 - Ônibus CNG – Cummins L10-260G – ano 1994 – Tacoma, WA

NÚMERO DO VEÍCULO	ÔNIBUS	DATA DO TESTE	ODÔMETRO	MP (g/km)	NOx (g/km)	HC (g/km)	CO (g/km)
PT-803	BIA	10/07/95	10000	0,02	7,21	6,03	0,44
PT-804	BIA	12/07/95	10000	0,00	4,10	10,01	0,25
PT-806	BIA	10/07/95	10000	0,02	9,70	10,69	0,37
PT-807	BIA	14/07/95	10000	0,00	7,21	14,48	0,56
PT-811	BIA	13/07/95	10000	0,00	6,59	6,90	0,68
MÉDIA				0,01	6,96	9,62	0,46

Tabela 19 - Ônibus Metanol – DDC 6V – 92TA – ano 1992 - Miami, FL

NÚMERO DO VEÍCULO	ÔNIBUS	DATA DO TESTE	ODÔMETRO	MP (g/km)	NOx (g/km)	HC (g/km)	CO (g/km)
MDTA-9211	FLX	21/01/94	42283	0,15	5,97	34,74	19,20
MDTA-9211	FLX	14/02/95	87000	0,14	8,14	12,99	21,69
MDTA-9212	FLX	22/01/94	37745	0,31	6,03	24,43	14,85
MDTA-9212	FLX	15/02/95	72364	0,48	8,08	51,71	16,97
MDTA-9213	FLX	24/01/94	39500	0,35	8,83	23,31	14,11
MDTA-9213	FLX	14/02/95	67697	0,09	7,89	1,18	10,63
MDTA-9214	FLX	25/01/94	65450	0,30	7,77	38,41	19,27
MDTA-9215	FLX	24/01/94	43800	0,34	5,47	20,01	17,28
MDTA-9215	FLX	16/02/95	75000	0,04	7,02	2,80	6,40
MÉDIA				0,24	7,25	23,29	15,60

Tabela 20 - Ônibus Metanol – DDC 6V – 92TA – ano 1993 – New York City

NÚMERO DO VEÍCULO	ÔNIBUS	DATA DO TESTE	ODÔMETRO	MP (g/km)	NOx (g/km)	HC (g/km)	CO (g/km)
TBCC-2136	TMC	12/11/94	22582	0,10	3,98	2,49	5,97
TBCC-2136	TMC	19/06/95	42100	0,03	3,67	0,31	2,98
TBCC-2137	TMC	16/11/94	9484	0,09	4,66	2,30	7,77
TBCC-2137	TMC	19/06/95	17854	0,04	3,79	0,68	4,10
TBCC-2138	TMC	14/11/94	6674	0,10	4,60	0,93	6,46
TBCC-2138	TMC	11/07/95	16067	0,02	4,16	0,12	2,36
TBCC-2139	TMC	15/11/94	7979	0,07	4,97	1,55	7,15
TBCC-2139	TMC	21/09/95	20765		4,54	0,50	3,67
TBCC-2140	TMC	17/11/94	15561	0,09	4,41	3,79	10,38
TBCC-2140	TMC	21/06/95	23036		3,73	0,31	1,37
MÉDIA				0,07	4,25	1,30	5,22

Tabela 21 - Ônibus Etanol – DDC 6V – 92TA – ano 1992 – Peoria, IL

NÚMERO DO VEÍCULO	ÔNIBUS	DATA DO TESTE	ODÔMETRO	MP (g/km)	NOx (g/km)	HC (g/km)	CO (g/km)
GPT-1504E	TMC	19/04/94	59925	0,38	8,33	7,89	27,41
GPT-1504E	TMC	18/04/95	94999	0,21	7,40	3,79	17,15
GPT-1506E	TMC	25/04/94	66567	0,51	5,53	5,59	34,56
GPT-1506E	TMC	10/04/95	103481	0,45	7,58	5,72	19,64
GPT-1507E	TMC	21/04/94	63588	0,44	9,32	4,72	24,30
GPT-1507E	TMC	06/04/95	102819	0,55	9,45	6,28	21,01
GPT-1508E	TMC	10/04/95	88049	0,45	5,41	6,34	20,20
GPT-1516E	TMC	10/04/94	84911	0,14	13,42	3,73	20,07
MÉDIA				0,39	8,30	5,51	23,04

Tabela 22 - Ônibus Etanol – DDC 6V – 92TA – ano 1991 – St. Paul, MN

NÚMERO DO VEÍCULO	ÔNIBUS	DATA DO TESTE	ODÔMETRO	MP (g/km)	NO _x (g/km)	HC (g/km)	CO (g/km)
MTC-8000	GLG	05/10/94	27605	0,27	15,23	13,80	38,10
MTC-8000	GLG	21/05/95	39609	0,39	14,17	17,15	34,49
MTC-8001	GLG	01/10/94	29694	0,25	13,42	6,40	19,39
MTC-8001	GLG	22/05/95	41979	0,28	12,68	6,65	21,01
MTC-8002	GLG	25/05/95	33831	0,34	8,83	12,93	26,85
MTC-8003	GLG	04/10/94	28722	0,29	20,82	6,34	11,62
MTC-8003	GLG	25/05/95	42581	0,37	15,10	8,51	26,85
MTC-8004	GLG	05/10/94	29119	0,25	9,32	5,03	29,89
MÉDIA				0,30	13,70	9,60	26,03

Tabela 23 - Ônibus Diesel – Cummins L10 - ano 1990 – Miami, FL

NÚMERO DO VEÍCULO	ÔNIBUS	DATA DO TESTE	ODÔMETRO	MP (g/km)	NO _x (g/km)	HC (g/km)	CO (g/km)
MDTA-9001	FLX	07/02/94	204000	1,76	11,43	1,31	25,42
MDTA-9001	FLX	24/02/94	250000	1,93	12,55	3,05	16,53
MDTA-9003	FLX	07/02/94	153000	1,04	14,23	0,62	14,79
MDTA-9004	FLX	08/02/94	174000	1,36	14,92	0,62	16,84
MDTA-9081	FLX	08/02/94	167000	0,75	15,10	0,93	9,94
MDTA-9082	FLX	09/02/94	172000	0,78	13,18	0,93	7,02
MDTA-9083	FLX	09/02/94	159000	1,03	14,42	0,99	11,81
MÉDIA				1,24	13,69	1,21	14,62

Tabela 24 - Ônibus Diesel – Cummins L10 - ano 1991 – Tacoma, WA

NÚMERO DO VEÍCULO	ÔNIBUS	DATA DO TESTE	ODÔMETRO	MP (g/km)	NO _x (g/km)	HC (g/km)	CO (g/km)
PT-464	BIA	03/07/95	200000	0,92	17,34	1,18	7,77
PT-465	BIA	18/08/94	164006	1,42	12,45	1,99	4,10
PT-465	BIA	15/07/95	220000	1,14	16,35	1,62	4,79
PT-466	BIA	19/08/94	107943	1,19	13,61	1,62	7,58
PT-466	BIA	17/07/95	210000	0,89	17,34	1,31	6,15
PT-467	BIA	20/08/94	155815	1,04	14,79	1,43	7,96
PT-467	BIA	18/07/95	220000	0,82	18,21	1,18	5,72
PT-468	BIA	22/08/94	144051	1,27	12,12	1,55	5,66
PT-468	BIA	20/07/95	200000	1,04	15,60	1,37	3,23
MÉDIA				1,08	15,31	1,47	5,89

Tabela 25 - Ônibus diesel sem filtro de particulados – DDC 6V-92TA - ano 1991 – St. Paul, MN

NÚMERO DO VEÍCULO	ÔNIBUS	DATA DO TESTE	ODÔMETRO	MP (g/km)	NO _x (g/km)	HC (g/km)	CO (g/km)
MTC-2207	TMC	13/09/94	116911	0,72	15,29	2,30	7,77
MTC-2207	TMC	19/05/95	142835	0,63	15,91	2,24	4,10
MTC-2208	TMC	17/05/95	140678	0,76	15,91	1,99	4,79
MTC-2209	TMC	15/09/94	126622	0,58	15,16	1,99	7,58
MTC-2209	TMC	17/05/95	144612	0,79	16,41	1,99	6,15
MTC-2210	TMC	17/09/94	122545	0,70	15,10	1,99	7,96
MTC-2210	TMC	16/05/95	151201	0,66	14,73	1,86	5,72
MTC-2211	TMC	16/09/94	107614	0,57	16,47	2,18	5,66
MTC-2211	TMC	17/05/95	128418	0,46	16,66	2,24	3,23
MÉDIA				0,65	15,77	2,09	5,89

Tabela 26 - Ônibus diesel sem filtro de particulados – DDC 6V-92TA – ano 1990 – Miami, FL

NÚMERO DO VEÍCULO	ÔNIBUS	DATA DO TESTE	ODÔMETRO	MP (g/km)	NO _x (g/km)	HC (g/km)	CO (g/km)
MDTA-9067	FLX	18/01/94	181385	1,67	12,87	1,18	6,15
MDTA-9067	FLX	06/02/95	231619	1,44	13,49	1,31	8,20
MDTA-9068	FLX	19/01/94	206506	1,15	17,09	1,06	7,83
MDTA-9068	FLX	23/02/95	256087	1,57	17,15	1,12	14,42
MDTA-9070	FLX	22/02/95	250000	1,33	24,18	1,55	8,33
MDTA-9071	FLX	22/02/95	245674	2,27	14,67	1,43	14,79
MÉDIA				1,57	16,58	1,28	9,95

Tabela 27 - Ônibus diesel testado na mistura biodiesel – DDC 6V – 92TA – ano 1988 – St. Louis, MO

NÚMERO DO VEÍCULO	ÔNIBUS	DATA DO TESTE	ODÔMETRO	MP (g/km)	NO _x (g/km)	HC (g/km)	CO (g/km)
SL-010BFD	FLX	24/04/96	22582	0,51	35,61	1,37	8,27
SL-003BFD	FLX	15/04/96	36457	0,61	32,63	1,37	3,29
SL-007BFD	FLX	13/04/96	238065	0,47	32,26	1,31	4,47
SL-001BFD	FLX	12/04/96	140966	0,61	34,99	1,43	7,71
MÉDIA				0,55	33,87	1,37	5,94

Tabela 28 - Ônibus diesel (o mesmo ônibus foi testado na mistura biodiesel) – DDC 6V – 92TA – ano 1988 – St. Louis, MO

NÚMERO DO VEÍCULO	ÔNIBUS	DATA DO TESTE	ODÔMETRO	MP (g/km)	NOx (g/km)	HC (g/km)	CO (g/km)
SL-010BFD	FLX	24/04/96	22592	0,60	36,54	1,49	10,81
SL-003BFD	FLX	22/04/96	37224	0,45	32,07	1,62	4,29
SL-007BFD	FLX	22/04/96	238702	0,33	33,00	1,68	3,92
SL-001BFD	FLX	20/04/96	141193	0,72	28,59	1,80	4,85
MÉDIA				0,53	32,55	1,65	5,97

Tabela 29 - Ônibus diesel com filtro de particulados (filtro removido antes de 1995 - data do teste) – DDC 6V – 92TA - ano 1992 – Peoria, IL

NÚMERO DO VEÍCULO	ÔNIBUS	DATA DO TESTE	ODÔMETRO	MP* (g/km)	MP** (g/km)	NOx (g/km)	HC (g/km)	CO (g/km)
GPT-1501	TMC	15/04/94	68721	0,09		16,78	1,74	6,46
GPT-1501	TMC	04/04/95	107954		0,52	15,04	1,74	2,11
GPT-1502	TMC	15/04/94	59373	0,44		15,60	1,55	6,65
GPT-1502	TMC	18/04/95	95032		0,43	14,92	1,55	2,86
GPT-1503	TMC	27/04/94	58287	0,30		15,29	1,74	7,83
GPT-1503	TMC	19/04/95	88913		0,40	16,59	1,55	1,86
MÉDIA				0,28	0,45	15,70	1,65	4,63

PM* resultados com filtros de particulados

PM** resultados sem filtros de particulados

Tabela 30 - Ônibus diesel com filtro de particulados (filtro removido antes de 1995 - data do teste) - DDC 6V - 92TA - ano 1993 - St. Paul, MN

NÚMERO DO VEÍCULO	ÔNIBUS	DATA DO TESTE	ODÔMETRO	MP* (g/km)	MP** (g/km)	NOx (g/km)	HC (g/km)	CO (g/km)
MTC-2222	GLG	23/09/94	36670	0,14		16,84	1,55	6,71
MTC-2222	GLG	18/05/95	62561		0,47	16,10	1,06	1,74
MTC-2223	GLG	26/09/94	34101	0,49		16,03	1,68	6,15
MTC-2223	GLG	19/05/95	60000		0,54	15,29	0,87	1,80
MTC-2224	GLG	27/09/94	40812	0,12		16,78	1,80	6,53
MTC-2224	GLG	20/05/95	68890		0,44	16,97	0,99	1,62
MTC-2225	GLG	28/09/94	33720	0,19		17,65	1,80	5,72
MTC-2225	GLG	12/05/95	71583		0,52	14,17	0,81	1,74
MTC-2226	GLG	29/09/94	26370	0,11		16,72	1,74	7,96
MTC-2226	GLG	15/05/95	43043		0,57	17,59	0,87	1,55
MÉDIA				0,21	0,51	16,41	1,32	4,15

6 ESTUDO DE CASO

O estudo de caso consiste na determinação da redução das emissões que ocorreriam caso houvesse a substituição de veículos movidos a diesel por outros movidos a gás natural, em quatro corredores distintos da cidade de Curitiba. Os dados sobre a utilização de combustíveis alternativos foram obtidos através do relatório do NREL, e os dados sobre a Cidade de Curitiba através do Relatório do IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica e Aplicada.

Cabe ressaltar que o referido estudo visa apenas comparar dados referente à emissão de gases poluentes advindos de veículos movidos a óleo diesel em relação àqueles cuja utilização se baseia em combustíveis alternativos. Quaisquer outras soluções tecnológicas ou de infra-estrutura de transportes que também possam levar à redução de emissões não serão consideradas neste estudo. As conclusões estão somente relacionadas ao ganho na redução de emissões devido à troca de tipo de combustível.

Os corredores estudados foram escolhidos aleatoriamente, uma vez que para o relatório do IPEA não havia uma diferenciação entre os tipos de ônibus que percorriam os diversos corredores analisados, levando-se em consideração apenas a quantidade de gases lançados na atmosfera.

A Figura 1 descreve a rota 03 com a Avenida Marechal Floriano Peixoto no trecho compreendido entre a Praça Carlos Gomes e o Terminal do Hauer. É um corredor com características específicas pois possui no centro da via canaletas exclusivas de ônibus no sentido centro-bairro e bairro-centro.

A Figura 2, descreve a rota 10 com as Avenidas Iguaçu e Presidente Getúlio Vargas, no sentido centro-bairro e bairro-centro respectivamente, no trecho compreendido entre as Ruas

Castro Alves e Conselheiro Laurindo. É importante salientar que nestas rotas os veículos do transporte coletivo urbano convivem com o tráfego normal da via não possuindo espaços exclusivos para ônibus.

Figura 1 – Avenida Marechal Floriano Peixoto



Figura 2 – Avenidas Iguazu e Presidente Getúlio Vargas



Através dos estudos do IPEA/ANTP, são apresentadas a seguir Tabelas de 31 a 38, onde constam o consumo de combustível e emissão de poluentes, consolidadas por faixa horária, para a Cidade de Curitiba, nos corredores descritos. As referidas tabelas mostram o consumo em litros/km e a emissão de poluentes em gramas/km destes trechos.

Tabela 31 - Avenida Marechal Floriano Peixoto – sentido bairro–centro – descrição e comprimento do trecho = 6,03 Km

FAIXA HORÁRIA	Nº DE ÔNIBUS	PASSAGEIROS	VELOCIDADE MÉDIA (km/h)	PASSAGEIROS /VEÍCULO
06:30 – 07:30	41	3.026	19,21	73,80
07:30 – 08:30	34	3.557	20,27	104,62
08:30 – 09:30	16	2.334	18,56	145,88
15:30 – 16:30	17	1.348	19,99	79,29
16:30 – 17:30	23	1.115	19,99	48,48
17:30 – 18:30	30	2.629	16,96	87,63
18:30 – 19:30	24	1.682	19,48	70,08

Fonte: IPEA/1998

Tabela 32 - Consumo de combustível e emissão de poluentes no trecho

FAIXA HORÁRIA	CONSUMO (l/km)	HC (g/km)	NOx (g/km)	CO (g/km)	MP(g/km)
06:30 – 07:30	0,4886	3,2936	18,1179	16,8002	0,7943
07:30 – 08:30	0,5136	3,0964	17,7709	16,3179	0,7771
08:30 – 09:30	0,5708	3,4199	18,3403	17,1093	0,8053
15:30 – 16:30	0,4886	3,1475	17,8608	16,4428	0,7815
16:30 – 17:30	0,4556	3,1475	17,8608	16,4428	0,7815
17:30 – 18:30	0,5223	3,7508	18,9227	17,9189	0,8341
18:30 – 19:30	0,4825	3,2423	18,0278	16,6749	0,7898

Tabela 33 - Avenida Marechal Floriano Peixoto – sentido centro–bairro – comprimento e descrição do trecho = 5,90km

FAIXA HORÁRIA	Nº DE ÔNIBUS	PASSAGEIROS	VELOCIDADE MÉDIA (km/h)	PASSAGEIROS /VEÍCULO
06:30 – 07:30	25	733	19,61	29,32
07:30 – 08:30	27	1.194	18,77	44,22
08:30 – 09:30	22	709	21,24	32,23
15:30 – 16:30	16	2.018	18,00	126,13
16:30 – 17:30	21	2.886	19,38	137,43
17:30 – 18:30	25	4.568	19,52	182,72
18:30 – 19:30	22	3.991	20,06	181,41

Fonte: IPEA/1998

Tabela 34 - Consumo de combustível e emissão de poluentes no trecho

FAIXA HORÁRIA	CONSUMO (l/km)	HC (g/km)	NOx (g/km)	CO (g/km)	MP(g/km)
06:30 – 07:30	0,4379	3,2179	17,9848	16,6152	0,7877
07:30 – 08:30	0,4604	3,3786	18,2676	17,0083	0,8017
08:30 – 09:30	0,4294	2,9249	17,4690	15,8981	0,7621
15:30 – 16:30	0,5543	3,5323	18,5382	17,3845	0,8151
16:30 – 17:30	0,5553	3,2612	18,0610	16,7211	0,7914
17:30 – 18:30	0,6027	3,2348	18,0145	16,6565	0,7891
18:30 – 19:30	0,5973	3,1347	17,8382	16,4114	0,7804

Tabela 35 - Avenida Presidente Getúlio Vargas – sentido bairro–centro – comprimento e descrição do trecho = 3,45 Km

FAIXA HORÁRIA	Nº DE ÔNIBUS	PASSAGEIROS	VELOCIDADE MÉDIA (km/h)	PASSAGEIROS /VEÍCULO
06:30 – 07:30	114	6.313	25,89	55,38
07:30 – 08:30	126	7.671	18,72	60,88
08:30 – 09:30	87	4.062	23,12	46,69
15:30 – 16:30	70	1.551	24,54	22,16
16:30 – 17:30	85	1.855	24,00	21,82
17:30 – 18:30	98	3.391	24,97	34,60
18:30 – 19:30	85	1.990	26,80	23,41

Tabela 36 - Consumo de combustível e emissão de poluentes no trecho

FAIXA HORÁRIA	CONSUMO (l/km)	HC (g/km)	NOx (g/km)	CO (g/km)	MP(g/km)
06:30 – 07:30	0,4271	2,1983	16,1901	14,1204	0,6988
07:30 – 08:30	0,4786	3,3884	18,2848	17,0323	0,8025
08:30 – 09:30	0,4330	2,6136	16,9211	15,1365	0,7350
15:30 – 16:30	0,3986	2,3949	16,5360	14,6013	0,7159
16:30 – 17:30	0,4013	2,4765	16,6798	14,8011	0,7230
17:30 – 18:30	0,4096	2,3311	16,4238	14,4453	0,7103
18:30 – 19:30	0,3885	2,0716	15,9669	13,8102	0,6877

Tabela 37 - Avenida Iguaçu – sentido centro–bairro – comprimento e descrição do trecho = 3,63 Km

FAIXA HORÁRIA	Nº DE ÔNIBUS	PASSAGEIROS	VELOCIDADE MÉDIA (km/h)	PASSAGEIROS /VEÍCULO
06:30 – 07:30	118	3.943	20,69	33,42
07:30 – 08:30	110	3.282	23,12	29,84
08:30 – 09:30	74	1.581	21,44	21,36
15:30 – 16:30	61	2.571	22,09	42,15
16:30 – 17:30	83	3.577	16,91	43,10
17:30 – 18:30	88	4.741	15,38	53,88
18:30 – 19:30	88	4.882	23,79	55,48

Fonte: IPEA/1998

Tabela 38 - Consumo de combustível e emissão de poluentes no trecho

FAIXA HORÁRIA	CONSUMO (l/km)	HC (g/km)	NOx (g/km)	CO (g/km)	MP(g/km)
06:30 – 07:30	0,4345	3,0212	17,6385	16,1337	0,7705
07:30 – 08:30	0,4149	2,6136	16,9211	15,1365	0,7350
08:30 – 09:30	0,4164	2,8905	17,4084	15,8140	0,7591
15:30 – 16:30	0,4344	2,7809	17,2155	15,5458	0,7496
16:30 – 17:30	0,4751	3,7616	18,9417	17,9454	0,8351
17:30 – 18:30	0,5016	4,1096	19,5544	18,7970	0,8654
18:30 – 19:30	0,4385	2,5088	16,7365	14,8800	0,7258

A partir das informações de comprimento do trecho e número de veículos das tabelas acima pode-se calcular a quilometragem percorrida por faixa horária e conseqüentemente a massa da emissão de poluentes emitidos em gramas. As tabelas de 39 a 42, a seguir, apresentam para os mesmos trechos, estes dados.

Tabela 39 - Emissão total de poluentes no trecho na Avenida Marechal Floriano Peixoto – sentido bairro–centro

FAIXA HORÁRIA	Km PERCORRIDA	HC (g)	Nox (g)	CO (g)	MP (g)
06:30 – 07:30	247,23	814,27	4.479,29	4.153,52	196,37
07:30 – 08:30	205,03	634,83	3.643,40	3.345,50	159,23
08:30 – 09:30	96,48	329,95	1.769,47	1.650,71	77,69
15:30 – 16:30	102,51	322,65	1.830,91	1.685,55	80,11
16:30 – 17:30	138,69	436,53	2.477,11	2.280,45	108,39
17:30 – 18:30	180,90	678,51	3.423,11	3.241,53	150,89
18:30 – 19:30	144,72	469,23	2.608,98	2.413,19	114,30
TOTAL	1.155,55	3.685,97	20.232,27	18.770,45	887,07

Tabela 40 - Emissão total de poluentes no trecho na Avenida Marechal Floriano Peixoto – sentido centro-bairro

FAIXA HORÁRIA	Km PERCORRIDA	HC (g)	Nox (g)	CO (g)	MP (g)
06:30 – 07:30	147,50	474,65	2.652,76	2.450,74	116,18
07:30 – 08:30	159,30	538,21	2.910,03	2.709,42	127,71
08:30 – 09:30	129,80	379,25	2.267,47	2.063,58	98,92
15:30 – 16:30	94,40	333,45	1.750,01	1.641,09	76,94
16:30 – 17:30	123,90	404,07	2.237,76	2.071,75	98,06
17:30 – 18:30	147,50	477,14	2.657,14	2.456,83	116,40
18:30 – 19:30	129,80	406,88	2.315,40	2.130,20	101,30
TOTAL	932,20	3.014,04	16.790,56	15.523,61	735,51

Tabela 41 - Emissão total de poluentes no trecho na Avenida Presidente Getúlio Vargas – sentido bairro-centro

FAIXA HORÁRIA	Km PERCORRIDA	HC (g)	Nox (g)	CO (g)	MP (g)
06:30 – 07:30	393,30	864,61	6.367,56	5.553,54	274,82
07:30 – 08:30	434,70	1.472,94	7.948,42	7.403,92	348,86
08:30 – 09:30	300,15	784,48	5.078,87	4.543,23	220,60
15:30 – 16:30	241,50	578,36	3.993,45	3.526,21	172,89
16:30 – 17:30	293,25	726,25	4.891,34	4.340,42	212,03
17:30 – 18:30	338,10	788,16	5.552,89	4.883,95	240,17
18:30 – 19:30	293,25	607,49	4.682,30	4.049,83	201,67
TOTAL	2.294,25	5.822,28	38.514,83	34.301,09	1.671,04

Tabela 42 - Emissão total de poluentes no trecho na Avenida Iguazu – sentido centro-bairro

FAIXA HORÁRIA	Km PERCORRIDA	HC (g)	Nox (g)	CO (g)	MP (g)
06:30 – 07:30	428,34	1.294,09	7.555,26	6.910,73	330,04
07:30 – 08:30	399,30	1.043,63	6.756,59	6.044,02	293,48
08:30 – 09:30	268,62	776,45	4.676,25	4.247,95	203,91
15:30 – 16:30	221,43	615,77	3.812,03	3.442,30	165,98
16:30 – 17:30	301,29	1.133,33	5.706,95	5.406,77	251,60
17:30 – 18:30	319,44	1.312,78	6.246,45	6.004,53	276,45
18:30 – 19:30	319,44	801,41	5.346,32	4.753,27	231,86
TOTAL	2.257,86	6.977,46	40.099,86	36.809,56	1.753,31

As Tabelas de 43 a 46 a seguir calculam o total de emissões no dia e no ano para cada trecho utilizado no estudo, conforme definição do IPEA:

Tabela 43 - Avenida Marechal Floriano – sentido bairro-centro

	Km PERCORRIDA	HC (gramas)	NOx (gramas)	CO (gramas)	MP (gramas)
TOTAL	1.115,55	3.685,97	20.232,27	18.770,45	887,07
P/24 HORAS	1.500,64	4.958,37	27.216,45	25.250,01	1.193,29
P/ 1 ANO	375.159,47	1.239.593,20	6.804.113,08	6.312.503,46	298.321,96
P/ 1 ANO (kg)		1.239,59	6.804,11	6.312,50	298,32

Tabela 44 - Avenida Marechal Floriano – sentido centro-bairro

	Km PERCORRIDA	HC (gramas)	NOx (gramas)	CO (gramas)	MP (gramas)
TOTAL	932,20	3.014,04	16.790,56	15.523,61	735,51
P/24 HORAS	1.254,00	4.054,49	22.586,66	20.882,36	989,41
P/ 1 ANO	313.498,86	1.013.622,95	5.646.665,60	5.220.590,08	247.351,70
P/ 1 ANO (kg)		1.013,62	5.646,67	5.220,59	247,35

Tabela 45 - Avenida Presidente Getúlio Vargas – sentido bairro-centro

	Km PERCORRIDA	HC (gramas)	NOx (gramas)	CO (gramas)	MP (gramas)
TOTAL	2.294,25	5.822,28	38.514,83	34.301,09	1.671,04
P/24 HORAS	3.086,23	7.832,13	51.810,15	46.141,83	2.247,89
P/ 1 ANO	771.556,28	1.958.033,08	12.952.537,80	11.535.456,49	561.971,88
P/ 1 ANO (kg)		1.958,03	12.952,54	11.535,46	561,97

Tabela 46 - Avenida Iguaçu - sentido centro-bairro

	Km PERCORRIDA	HC (gramas)	NOx (gramas)	CO (gramas)	MP (gramas)
TOTAL	2.257,86	6.977,46	40.099,86	36.809,56	1.753,31
P/24 HORAS	3.037,27	9.386,08	53.942,33	49.516,23	2.358,56
P/ 1 ANO	759.318,32	2.346.520,07	13.485.581,61	12.379.056,52	589.639,73
P/ 1 ANO (kg)		2.346,52	13.485,58	12.379,06	589,64

A Tabela 47 traz o resumo dos resultados dos testes de emissões calculados através da média aritmética da emissão de poluentes nos veículos testados pelo 5º Relatório do NREL. Através desta tabela é possível visualizar as alterações causadas pelas emissões de poluentes em cada situação.

Tabela 47 - Resumo dos resultados dos testes de emissões (g/km)

ÔNIBUS - MOTOR	PM*	PM**	NOx	HC	CO
CNG-L10 – 240 e 260G		0,00	12,83	9,55	6,19
Metanol – DDC6V-92TA		0,16	5,75	12,29	10,41
Etanol – DDC6V-92TA		0,37	11,00	7,55	24,54
Diesel – Cummins L10		1,16	14,50	1,34	10,80
Diesel c/F.P.-DDC6V-92TA	0,24	0,48	16,06	1,49	4,39
Diesel s/F.P.-DDC6V-92TA		1,11	16,15	1,68	7,92
Diesel com Biodiesel		0,55	33,87	1,37	5,94
Diesel sem Biodiesel		0,53	32,55	1,65	5,97

PM* resultados com filtros de particulados

PM** resultados sem filtros de particulados

Tabela 48 - Comparativo entre combustíveis alternativos e seu equivalente diesel

ÔNIBUS - MOTOR	PM**	NOx	HC	CO
CNG em relação ao Diesel	desprezível	-13%	+613%	-74%
Etanol em relação ao Diesel com filtro de particulados	-30%	-46%	+407%	+459%
Metanol em relação ao Diesel com filtro de particulados	-200%	-179%	+725%	+137%
Etanol em relação ao Diesel sem filtro de particulados	-200%	-47%	+349%	+210%
Metanol em relação ao Diesel sem filtro de particulados	-594%	-181%	+632%	+31%
Diesel com Biodiesel em relação ao Diesel sem Biodiesel	+4%	+4%	-20%	-0,5%

Utilizando-se os dados considerados para custos ambientais, o resultado anual para cada trecho será o seguinte:

- Avenida Marechal Floriano – sentido bairro–centro
 CO = R\$ 1.199,38
 HC = R\$ 1.413,13
 NOx = R\$ 7.620,60
 Partículas = R\$ 271,47
- Avenida Marechal Floriano – sentido centro–bairro
 CO = R\$ 991,91
 HC = R\$ 1.155,53
 NOx = R\$ 6.324,27
 Partículas = R\$ 225,09
- Avenida Presidente Getúlio Vargas – sentido bairro–centro
 CO = R\$ 2.191,74
 HC = R\$ 2.232,15
 NOx = R\$ 14.506,84
 Partículas = R\$ 511,39
- Avenida Iguaçu – sentido centro–bairro
 CO = R\$ 2.352,02
 HC = R\$ 2.675,03

NOx = R\$ 15.103,85

Partículas = R\$ 536,57

7 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Partindo-se dos resultados da Tabela 47, é viável chegar as seguintes conclusões:

1. na relação Diesel/GNC:

- as emissões de material particulado para os veículos movidos a gás natural são desprezíveis, portanto existe um ganho significativo em relação ao diesel ;
- as emissões de NOx podem ser reduzidas em até 13%;
- as emissões de CO podem ser reduzidas em 74%; e
- as emissões de HC podem aumentar em 86%.

Isto representaria um ganho de R\$ 26.859,24/ano no custo ambiental. Resta melhorar as tecnologias existentes para reduzir as emissões de hidrocarbonetos.

2. na relação Diesel/Etanol:

- as emissões de material particulado podem ser reduzidas em 215%;
- as emissões de NOx podem ser reduzidas em 32%;
- as emissões de CO podem aumentar em 56%; e
- as emissões de HC podem aumentar em 82%.

Para este combustível, as reduções de emissões ainda não viabilizam a mudança, uma vez que resultaria em um prejuízo na ordem de R\$ 5.309,69, devido as altas emissões de hidrocarbonetos e monóxido de carbono.

3. na relação Diesel/ Metanol:

- as emissões de material particulado são reduzidas em 644%;
- as emissões de NOx podem ser reduzidas em 152%;
- as emissões de CO também são reduzidas em 4%; e

- as emissões de HC podem aumentar em 89%.

Os ganhos com o combustível Metanol em relação ao diesel ficam na ordem de R\$ 107.391,30, ou seja, se não houvesse mais nenhum outro custo, pois não está sendo discutido custos de operação e de implantação da nova tecnologia, este seria praticamente o preço de um veículo novo de substituição.

4. na relação Diesel/Biodiesel:

- as emissões de material particulado são reduzidas em 109%;
- as emissões de NOx aumentam em 57%;
- as emissões de HC aumentam em 2%; e
- as emissões de CO são reduzidas em 82%.

Esta é a relação que menos favorece ao meio ambiente, uma vez que resulta em um prejuízo de R\$ 31.027,88, devido as altas emissões de NOx e a baixa redução das emissões de material particulado.

As análises e críticas sobre os resultados e a metodologia empregada no decurso deste trabalho permitiram chegar a conclusões importantes para a continuidade de um estudo mais detalhado sobre o tema. A temática é vasta e resultados importantes podem ajudar no estudos futuros quanto à questão ambiental. É importante ressaltar que a análise comparativa serviu apenas como início de um trabalho extenso onde custos de implantação e custos de operação de uma nova tecnologia devem ser incorporados ao estudo de viabilidade, antes de se dar por definida esta etapa.

Quanto ao GNC, além dos estudos já considerados, é importante não deixar de lembrar que um trabalho detalhado de mapeamento da rede de canalização do gasoduto deve ser incorporado aos custos de implantação, uma vez que este vem se tornando um dos grandes impedimentos para implantação, além de questões políticas que não cabe nesta discussão.

Outras alternativas, como a comercialização das reduções de carbono, que prevê o Protocolo de Kyoto, também serve como estudos futuros para o objetivo ambiental. Esta talvez seja a grande cartada das negociações futuras.

Em suma, estudos vêm sendo feitos em diversos campos a fim de auxiliar nas questões referente às emissões de gases na atmosfera e preocupações recaem sobre o risco que se corre nas possíveis alterações climáticas a que o globo terrestre está sujeito, se soluções rápidas e eficazes

não forem implantadas a fim de se auxiliar na recuperação do meio ambiente. É um trabalho árduo, porém imprescindível que deve começar nos bancos dos primeiros anos escolares e nos lares das pessoas que, de alguma forma, almejam vislumbrar um futuro para si ou para seus filhos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABE, Tsugio, SATO, Tatsugi and HAYASHIDA, Morimassa. **Particulate Matter Emission Characteristics under Transient Pattern Drivings**. In Diesel Combustion & Emissions. Detroit, Michigan, February and March 1989, p 151.
2. ÁLVARES JUNIOR, Olímpio de Melo, BRANCO, Gabriel Murgel e SZWARC, Alfred. **Aspectos Ambientais do Trólebus**. In Revista dos Transportes Públicos , Ano 19 , 3º Trim. 97, nº 76, ANTP, São Paulo. p. 94.
3. Alternative Fuel Transit Buses. **Final Results from the National Renewable Energy Laboratory Vehicle Evaluation Program**. <http://www.afdc.doe.gov>, Out 1996 – 36p.
4. ANDRADE, Renata Marson Teixeira de. **Estudo do Metabolismo Energético do Sistema de Transportes: Caso de Curitiba**. Dissertação de Mestrado. São Paulo. 1998, p 22, 25-27, 29-30.
5. BRANCO, S. Murgel. **Os Efeitos da Poluição do Ar**. In Revista Moderna - São Paulo - 1995, p 35.
6. BRAZ, José Tadeu. **Generalidades sobre poluição na cidade de São Paulo e em suas bacias de sedimentação** In Redução das Deseconomias Urbanas com a Melhoria do Transporte Público – IPEA/ANTP, Abril 1998.
7. BRAZ, José Tadeu, **Emissão de Gases Poluentes: Curvas Tipo**. In Redução das Deseconomias Urbanas com a Melhoria do Transporte Público – IPEA/ANTP, Abril 1998.
8. CAIXETA, Nely. **Vai um Gás aí?**. **Revista Exame**, São Paulo, 23 fev.2000. Edição 708. p. 34 – 36.

9. CURTIS, Julia and ASLAM, Malik Amin. **Elaborating the Clean Development Mechanism under the Kyoto Protocol**, 1998. Disponível na Internet. <http://www.iea.org/ieakyoto/docs/cdm1.htm> - May 1998.
10. DIRETORIA DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO DE TECNOLOGIA. **Inventário de Emissão Veicular – 1992: Metodologia de Cálculo**. In Redução das Deseconomias Urbanas com a Melhoria do Transporte Público – IPEA/ANTP, Abril 1998. p.52 e 59
11. FEDERAL ALTERNATIVE MOTOR FUELS PROGRAMS. **Fifth Annual Report to Congress**. Disponível na Internet. <http://www.afdc.doe.gov>. Set 1996 – 87p.
12. HOTHERSALL, David C. And SALTER, Richard J., **Transport and the Environment**. London: Copyright, 1977 – 287p.
13. JANNUZZI, Gilberto De Martino, **A Política Energética e o Meio Ambiente: instrumentos de mercado e regulação**. Disponível na Internet. <http://www.fem.unicamp.br/~jannuzzi>, - Nov 1995
14. MELLO, José Carlos, **Transportes e Meio Ambiente**. In Revista dos Transportes Públicos – ANTP. Ano 11 – nº 45 – Set 1989, p. 77-87
15. MERCEDES-BENZ, **Relatório sobre o Chassi para Ônibus a Gás – OH-1623 LG**, São Bernardo do Campo, SP – 1998.
16. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Balanço Energético Nacional**. 1997, ano base 1996, Brasília 1997.
17. OECD, **Transport and the Environment**. Paris, 1988 – 131p.
18. SPTRANS, **Plano de Alteração de Combustível - PAC**. Programa para utilização do gás natural nos ônibus no Município de São Paulo. www.sptrans.com.br. Dez 2000.
19. TECPAR, Instituto de Tecnologia do Paraná, **Relatório Final de Coordenação do Projeto do Paraná – Mistura Álcool / Diesel / AEP 102**, Ago 1999. Curitiba – PR.
20. TOLENTINO, M et all, **O Azul do Planeta: Um Retrato da Atmosfera Terrestre**. In Revista Moderna - São Paulo - 1995, p 57.
21. VARANGU, Kristi et all, **The Clean Development Mechanism: Sumary of Regional Workshops**, 1998. Disponível na Internet. <http://www.iea.org/ieakyoto/docs/cdm1.htm>.

22. VARANGU, Kristi et all, **A Series of Regional Workshops: New Partnerships for Sustainable Development the Clean Development Mechanism under the Kyoto Protocol**, 1998. Disponível na Internet. <http://www.iea.org/ieakyoto/docs/cdm1.htm>.
23. VARANGU, Kristi et all, **Latin American Workshop: New Partnerships for Sustainable Development the Clean Development Mechanism under the Kyoto Protocol**, 1998. Disponível na Internet. <http://www.iea.org/ieakyoto/docs/cdm1.htm>.
24. WARK, Kenneth and WARNER, Cecil F., **Air Pollution – Its Origin and Control**. New York: Copyright, 1981, 525p.
25. YIROYASU, Hiroyuki and NISHIDA, Keiya. **Fuel Spray Trajectory and Dispersion in a D.I. Diesel Combustion Chamber**. In Diesel Combustion & Emissions. Detroit, Michigan, February and March 1989, p 71.
26. YOSHIKAWA, Shigeru et all. **Optimizing Spray Behaviour to Improve Engine Performance and to Reduce Exhaust Emissions in a Small D.I. Diesel Engine**. In Diesel Combustion & Emissions. Detroit, Michigan, February and March 1989, p 89-90.

ABSTRACT

This paper brings out an urban public transportation in search of affordable development. Therefore, the objective is to clarify some concepts: about atmospheric pollution, gas emission originating from the mufflers of urban buses that run on diesel, hazards to health and, from there, offer an alternative gas less harmful to the human health and to the environment. The gas source taken as an alternative is natural gas that reinforces the concept of lowering the gas emission levels. The survey is being carried out in the city of Curitiba where a corridor (lane) of transportation will be analysed for natural gas vehicles as substitution for the ones used nowadays and a survey on the viability of the project will be proposed for the conclusion of the paper.

Keyword: affordable development, gas emissions, lowering of the gas emission levels.