UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO

Análise Econômica para a Substituição do Uso de Combustível Diesel por GNC no Transporte Público de Passageiros.

Dmitri Dmitrievich Lobkov

Campinas
2005

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO

Análise Econômica para a Substituição do Uso de Combustível Diesel por GNC no Transporte Público de Passageiros.

Autor: Dmitri Dmitrievich Lobkov

Orientador: Dr. Carlos Alberto B.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 Geotecnia e Transporte.

Campinas, SP
2005

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

Lobkov, Dmitri Dmitrievich
L785a Análise econômica para a substituição do uso de combustível diesel por GNC no transporte público de passageiros / Dmitri Dmitrievich Lobkov --Campinas, SP: [s.n.], 2005.

Orientador: Carlos Alberto Bandeira Guimarães.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo.

1. Transporte urbano. 2. Gases de combustão. 3. Gás natural – Motor diesel. 4. Hidrogênio como combustível. I. Guimarães, Carlos Alberto Bandeira. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. III. Título.

Titulo em Inglês: Economical analysis for the substitution of diesel fuel by CNG in the passengers's public transport
Palavras-chave em Inglês: Sustainable transport, Tailpipe emission, Natural gas, Gas/diesel e Hydrogen as fuel.
Área de concentração: Geotécnica e Transporte
Titulação: Mestre em Engenharia Civil
Banca examinadora: Orlando Fontes Lima Júnior e Ennio Peres da Silva
Data da defesa: 28/02/2005

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO

Análise Econômica para a Substituição do Uso de Combustível Diesel por GNC no Transporte Público de Passageiros.

Dmitri Dmitrievich Lobkov

Dissertação de Mestrado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:

Prof. Dr. Carlos Alberto Bandeira Guimarães
Presidente e Orientador, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo - UNICAMP

Prof. Dr. Orlando Fontes Lima Júnior
Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo - UNICAMP

Prof. Dr. Ennio Peres da Silva
IFGW - UNICAMP

Campinas, 28 de fevereiro de 2005.

Dedicatória

A BC CCCP, por tudo que recebi.

Agradecimentos

O autor agradece profundamente ao orientador Prof. Dr. Carlos Alberto Bandeira Guimarães pela sua ajuda nos momentos mais difíceis.

Aos amigos do Laboratório do Hidrogênio da UNICAMP (LH2) pela ajuda e aos colegas pelas sugestões recebidas, que permitiram aprimorar o texto e eliminar diversas inconsistências.

Ao LH2 e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro.

Tudo o que é humano, se não avançar, deve retroceder.

Edwar Gibbon,

Declínio e Queda do Império Romano

Sumário

Lista de Tabelas xi
Lista de Figuras xiii
Resumo xiv
Resumo xiv
Capítulo 1 Introdução 1
Capítulo 2 Transporte Sustentável 5
2.1 Desenvolvimento Sustentável 5
2.2 Os princípios do transporte sustentável 7
2.2.1 Os objetivos do plano estratégico em relação ao transporte sustentável 8
2.2.2 Integração da sustentabilidade dos transportes às políticas nacionais 9
2.3 Exemplos de políticas sustentáveis de transportes 11
2.4 Dificuldades suscitadas pela sustentabilidade nas políticas de transportes 15
2.5 Aspectos Ambientais 17
2.5.1 Efeitos das emissões na saúde 18
2.5.2 Padrões de qualidade do ar 21
Capítulo 3 Segunda Fase do Uso de Energia em Transporte - Transporte Sustentável 25
3.1 Transição energética 25
3.2 Combustíveis gasosos 27

3.2.1Gás natural 27
3.2.2Metano (CH_4) 30
3.2.3 Propano-Butano 32
3.3 Utilização do gás natural no transporte 33
3.3.1 Experiência de utilização do gás natural nos ônibus do município de São Paulo 37
3.3.2 Experiência na conversão de um motor *Diesel* para o uso de GNC no ciclo gás-diesel na UNICAMP 43
3.4 Comparação das emissões dos principais poluentes por motores diesel com o uso de combustíveis gasosos 46
3.4.1 Impactos ambientais e conclusões 51
3.5 Desenvolvimento do transporte sustentável 52
3.5.1A utilização de hidrogênio como combustível para ônibus urbanos 53
Capítulo 4 Metodologia 60
4.1 Descrição 60
4.2 Determinação dos custos 61
4.3 O uso do Método do Benefício Líquido Anual Uniforme para comparação entre as alternativas de investimento 66
Capítulo 5 Estudo de caso 68
5.1 .Identificação de cenários 70
5.2 .Análise do custo/benefício de transformação da frota de ônibus para o uso de gás natural veicular – motor a gás ciclo *Otto* 71
5.3 Análise do custo/benefício de transformação da frota de ônibus para o uso de gás natural veicular – motor a gás-diesel ciclo Diesel 79
5.4 Análise da redução estimada dos principais poluentes locais e globais pelo uso de GNC 82
Capítulo 6 Discussões dos resultados 88
6.1 Comparação das diferentes alternativas na transformação dos ônibus urbanos para o uso do gás natural 88
Capítulo 7 Considerações Finais 94
7.1 Conclusões 96

Referências Bibliográficas: 106
Abstract 111

Lista de Tabelas

Tabela 1: Padrões nacionais de qualidade do ar dos principais poluentes 22
Tabela 2: Distribuição do consumo de gás natural por setor (2000) 29
Tabela 3: Composição típica do gás natural..... 31
Tabela 4: Diferenças entre os motores 1ª e 2ª geração: 38
Tabela 5: Frota primeira geração (motores com 150 cv) 40
Tabela 6: Frota segunda geração (motores com 232 cv) 41
Tabela 7: Preço do veículo: 42
Tabela 8: Custo do combustível (em 1998) 43
Tabela 9: Emissões de gases de escape por tipo de motor 50
Tabela 10: Alguns projetos de demonstração da tecnologia de ônibus elétricos com células a combustível (CaC) (Fuel Cell, 2004) 58
Tabela 11: Preços do ônibus com motor diesel 63
Tabela 12: Fatores de emissão. 65
Tabela 13 : Principais características do cidade de Campinas..... 68
Tabela 14: Evolução da quilometragem anual percorrida e frota de ônibus do transporte urbano de passageiros na cidade de Campinas 69
Tabela 15: Consumo de combustível diesel e custos..... 70
Tabela 16 : Valores de venda dos ônibus urbanos..... 73

Tabela 17: Análise de custo/benefício de transformação da frota de ônibus para o uso de gás natural veicular- *Cenário 1- Ideal no período 2006-2013* 74
Tabela 18: Dados da redução do consumo e dos custos dos combustíveis. 75
Tabela 19: Custos da transformação da frota de ônibus para o uso de gás natural veicular- *Cenário 2- Ônibus com motores a Gás* 77
Tabela 20: Análise de custo/benefício de transformação da frota de ônibus para o uso de gás natural veicular-Cenário *2- Ônibus com motores a gás* 78
Tabela 21: Dados da redução do consumo e custos dos combustíveis Cenário 3..... 80
Tabela 22: Análise de custo/benefício de transformação da frota de ônibus para o uso de gás natural veicular - *Cenário 3 – Ônibus com motores a gás-diesel* 81
Tabela 23: Redução dos principais poluentes locais e globais [t/ano]..... 83
para o *Cenário 1* 83
Tabela 24: Redução dos principais poluentes locais e globais [t/ano]..... 84
para o *Cenário 2* 84
Tabela 25: Redução dos principais poluentes locais e globais [t/ano]..... 85
para o *Cenário 3-Ônibus com motores a gás-diesel* 85
Tabela 26: Redução dos principais poluentes locais e globais durante o período de 2006 a 2013 [t]. 86
Tabela 27 : Comparação dos benefícios da transformação da frota de ônibus para o uso de gás natural comprimido - *período de 2006 a 2013*..... 88
Tabela 28 : Comparação dos Cenários da transformação da frota de ônibus para o uso de gás natural comprimido. 90
Tabela 29: Comparação dos benefícios da transformação da frota de ônibus para o uso de GNC - *período de 2006 a 2013*..... 92
ANEXOS..... 99
ANEXO I : Emissões de gases do ônibus por tipo de motor..... 100
ANEXO II: Parâmetros estatísticos para emissões de gases..... 102
ANEXO III: Impacto ambiental de emissões de gases 103
Anexo IV: Parâmetros estatísticos para emissões de gases..... 104

Lista de Figuras

Figura 2.1 - Conceito global de Desenvolvimento Sustentável..... 6
Figura 3.1 – Transição do sistema energético global: 1850-2150 26
Figura 3.2 – Consumo mundial e da América Latina de gás natural 1970-2025 28
Figura 3.3 - Conversão veiculo para o uso de GNC no ciclo gás-diesel..... 44
Figura 3.4 - Ensaios e testes no percurso escolhido 45
Figura 3.5 - Comparação da temperatura de Gases de escape..... 46
Figura 3.6 - Emissões de gases do ônibus por tipo de motor..... 50
Figura 3.7 - Comparação de emissões e consumo entre HCNG e GNC..... 55
Figura 3.8 - FCHV-BUS2 (“Fuel Cell Hybrid Vehicle”) desenvolvido pela Toyota: Distribuição dos componentes num sistema veicular híbrido..... 59
Figura 5.1 - Fluxo de caixa (em mil R$)- Cenário 1 74
Figura 5.2 - Fluxo de caixa (em mil R$)- Cenário 2 78
Figura 5.3 - Fluxo de caixa (em mil R$)- Cenário 3 82

Resumo

LOBKOV, Dmitri Dmitrievich, *Análise Econômica para a Substituição do Uso de Combustível Diesel por GNC no Transporte Público de Passageiros*: Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS, 2005. 122 p. Dissertação (Mestrado).

Neste trabalho se apresentam argumentos econômicos e de meio ambiente para o uso de GNC em ônibus de transporte público, na forma de gás-diesel.

Assim, os objetivos deste trabalho são:

Analisar e comparar a experiência real do uso de gás-diesel em outros países e também no Brasil, para oferecer alternativa de combustível Gás Natural Comprimido (GNC) para as empresas de transporte urbano.

Fundamentar as vantagens econômicas de reduzir o consumo de combustível diesel em ônibus a gás-diesel, usando como combustível uma mistura de diesel e GNC.

Fazer os cálculos de demanda crescente de GNC com a substituição de combustível diesel por GNC nos ônibus urbanos.

Palavras Chave

Transporte sustentável, Gases de escape, Gás Natural, Gás-Diesel, Hidrogênio.

Capítulo 1 Introdução

Entre os principais problemas que preocupam os governos atuais está certamente a questão do transporte urbano. O planejamento dos sistemas de transporte, principalmente nos grandes centros urbanos, deve priorizar a utilização dos transportes coletivos, com a integração adequada dos meios disponíveis, compondo um sistema sólido que atenda às necessidades da população e que produzam os menores impactos possíveis, agredindo o mínimo possível à qualidade de vida das pessoas atendidas.

Nesse sentido, o ônibus se apresenta como uma opção que pode desempenhar esta função, com vantagens claras no que se refere à diminuição do trânsito. Os avanços tecnológicos, que visam à diminuição das emissões atmosféricas destes veículos, podem contribuir para a melhoria da saúde pública, uma vez que a utilização de combustíveis mais "limpos" diminui os impactos sócio-ambientais dos transportes urbanos. Os aspectos ambientais são expostos durante o Capítulo 2, apresentando uma revisão, consideravelmente detalhada, dos conceitos de desenvolvimento sustentável e os princípios do transporte sustentável.

No contexto da diminuição das emissões atmosféricas, governos de países de todo o mundo se empenham no desenvolvimento de tecnologias mais limpas que se apresentem como alternativas aos atuais combustíveis fósseis. O uso de combustíveis gasosos em transporte urbano é o primeiro passo de um longo caminho para o melhoramento da qualidade do ar e proteção do meio ambiente. O Capítulo 3 apresenta de forma detalhada a transição energética para o uso de combustíveis gasosos no transporte e o perspectivo futuro do uso de hidrogênio.

O ônibus é o principal meio de transporte público urbano de passageiros no Brasil, sendo que nas principais capitais brasileiras os ônibus chegam a transportar por mês mais de 550 milhões de passageiros com uma frota de cerca de 55 mil veículos, que percorre aproximadamente 250 milhões de quilômetros (NTU, 2003). Para atender

a este mercado, o Brasil é atualmente o segundo maior fabricante de ônibus do mundo, com uma produção em torno de 15 mil veículos por ano (FABUS, 2002). Esta situação leva, entre outros problemas, à dependência do petróleo como fonte de energia e ao aumento da poluição atmosférica nos centros urbanos, uma vez que estes veículos são majoritariamente impulsionados por motores de combustão interna, de ciclo Diesel.

A prestação dos serviços de transporte coletivo é um dos principais problemas das cidades grandes e médias brasileiras, das quais Campinas não é exceção. Na essência do tema despontam duas questões: o elevado valor das tarifas, ponto polêmico no debate sobre a ampliação e o incentivo ao uso do transporte público no Brasil e a qualidade dos serviços – ambos intrinsecamente relacionados.

O custo da tarifa de transporte pesa especialmente em um país que, de acordo com pesquisa realizada pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada - IPEA em 2001, concentra 56 milhões de pobres – o equivalente a 34% da população. Diante de uma parcela tão grande da população vivendo na faixa da pobreza, o elevado valor da tarifa torna-se um agravante à exclusão social, uma vez que reduz a mobilidade de amplo segmento, impede o acesso aos serviços básicos e, muitas vezes, bloqueia qualquer possibilidade de ascensão de um enorme contingente social. Está criado assim um círculo vicioso e nocivo ao desenvolvimento dos grandes centros urbanos brasileiros: sem emprego, o cidadão não tem acesso a serviços essenciais e, principalmente, aos recursos que podem lhe dar nova perspectiva de vida, perpetuando assim sua condição de pobreza, que retarda a capacidade de investimento, modernização e crescimento das cidades.

O transporte coletivo urbano, pelo menos na maioria das grandes cidades do Brasil, apresenta custos crescentes e uma demanda decrescente. Como as tarifas são produto da divisão do primeiro pelo segundo, a tendência de elevação dos preços é inevitável. São fatores estruturais que explicam o crescimento dos custos do transporte em uma cidade com as características de Campinas. Os principais componentes de custo do transporte, exceto os gastos com pessoal, que serão tratados em separado, estão fora do controle dos órgãos gestores locais e tiveram elevações de preços

significativas, acima dos índices econômicos médios gerais. Para exemplificar, se comparado apenas o valor do diesel, esse item passou de R$ 0,29 (em janeiro/95) a R$ 1,36 (em janeiro/2004), o que significa um aumento nos preços de 368%. Com essa elevação, o impacto do diesel na tarifa subiu de 13,43% para 26% (EMDEC, 2004).

Nas grandes cidades, o aumento dos custos operacionais sofre ainda a conseqüência da redução das velocidades médias decorrentes dos congestionamentos. Considerando que a frota necessária para operação do sistema depende diretamente do tempo gasto para a realização da viagem (tempo de ciclo), a perda de velocidade e de tempo decorrentes dos congestionamentos tem impacto direto na ampliação da frota – e de custos, sem nenhum ganho para os usuários; ou seja, se o tempo gasto para a realização das viagens, no pico, for aumentado em 10%, será necessário um acréscimo equivalente na frota para manter o mesmo intervalo entre as partidas, isto é, um maior investimento para fazer o mesmo número de viagens.

Uma pesquisa realizada em 1998 pela Associação Nacional de Transportes Públicos – ANTP e pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA em 10 cidades brasileiras (Campinas inclusive) procurou medir o impacto das deseconomias urbanas, entre elas o congestionamento, na sociedade. Para a cidade de Campinas, foi identificado que o efeito do congestionamento no transporte público, apenas em termos de aumento de frota e de consumo de combustível, representa um aumento de 6,4% no custo operacional, menor apenas, entre as cidades pesquisadas, que em São Paulo e no Rio de Janeiro. Um agravante do congestionamento no transporte público é a poluição do ar por gases de escape.

Pode se observar claramente, que existem dois problemas relacionados com o combustível diesel: o aumento nas tarifas e a contaminação produzida por este combustível. Uma solução para esses problemas é a substituição do combustível diesel pelo uso de Gás Natural Comprimido (GNC). O objetivo desta dissertação é analisar a experiência internacional e brasileira no uso de GNC como combustível alternativo em ônibus urbanos.

Pretende-se também fundamentar as vantagens econômicas do uso de GNC no transporte de passageiros. Isto permitirá que o gerenciamento das empresas de transporte urbano faça um plano realista da transformação da sua frota de coletivos para o uso de GNC como combustível. No Capítulo 5 são apresentados os modelos para a análise econômica de transformação da frota de ônibus para o uso de gás natural veicular e feitos os cálculos para os diferentes cenários dessa transformação. A análise e a discussão dos resultados obtidos são feitas no Capítulo 6. Algumas conclusões e considerações finais são apresentadas no Capítulo 7.

Espera-se que os resultados deste trabalho possam ter uso prático nas empresas de ônibus e outras empresas de transporte, como também nas Secretarias de Transporte dos municípios.

Capítulo 2 Transporte Sustentável

2.1 Desenvolvimento Sustentável

O conceito de Sustentabilidade surgiu a partir do relatório “Nosso Futuro Comum” que foi publicado em 1987, que é também conhecido como relatório da Comissão Brundtland (nome da primeira ministra da Noruega, Gro Harlem Brundtland, responsável pela elaboração deste documento). Neste relatório, o Desenvolvimento Sustentável foi conceituado como uma forma de desenvolvimento que atende às necessidades presentes sem comprometer a possibilidade de que as gerações futuras atendam suas próprias necessidades. Esse desenvolvimento correspondia “à vontade de se estabelecer um novo projeto de sociedade que tente corrigir os excessos de um modelo de desenvolvimento cujos limites se tornaram perceptíveis a partir do início dos anos 70” (CDU,1998).

A partir da conferência do Rio de Janeiro, em 1992, o princípio do desenvolvimento sustentável é incorporado aos acordos internacionais, e depois integra o conjunto de aspectos de solidariedades sociais apresentados pela “Cúpula para o desenvolvimento social” de Copenhague, organizada em 1995 pelas Nações Unidas. Essa consideração das solidariedades sociais foi confirmada por ocasião da conferência de Istambul das Nações Unidas, de 1996, sobre os assentamentos humanos, que estabeleceu papel mais amplo para cidades e autoridades locais nos processos decisórios. Em fins de 1997, o Protocolo de Quioto definiu objetivos relativos às mudanças climáticas.

Desse modo, o desenvolvimento sustentável hoje se apresenta como “um processo de desenvolvimento que concilia o ecológico, o econômico e o social, além de estabelecer um círculo virtuoso entre esses três pólos, que garante a eficiência

econômica sem perder de vista as finalidades sociais, quais sejam, o combate à pobreza, às desigualdades, à exclusão e a busca da justiça" (CDU, 1998).

As ações relativas às políticas de desenvolvimento sustentável devem, portanto, estar contidas nas chamadas estratégias "a triplo dividendo", ou seja, que tragam melhoras no que se refere, simultaneamente, à economia, meio ambiente e sociedade em todos os seus aspectos sociais. O conceito global de Desenvolvimento Sustentável se apresenta na Figura 2.1:

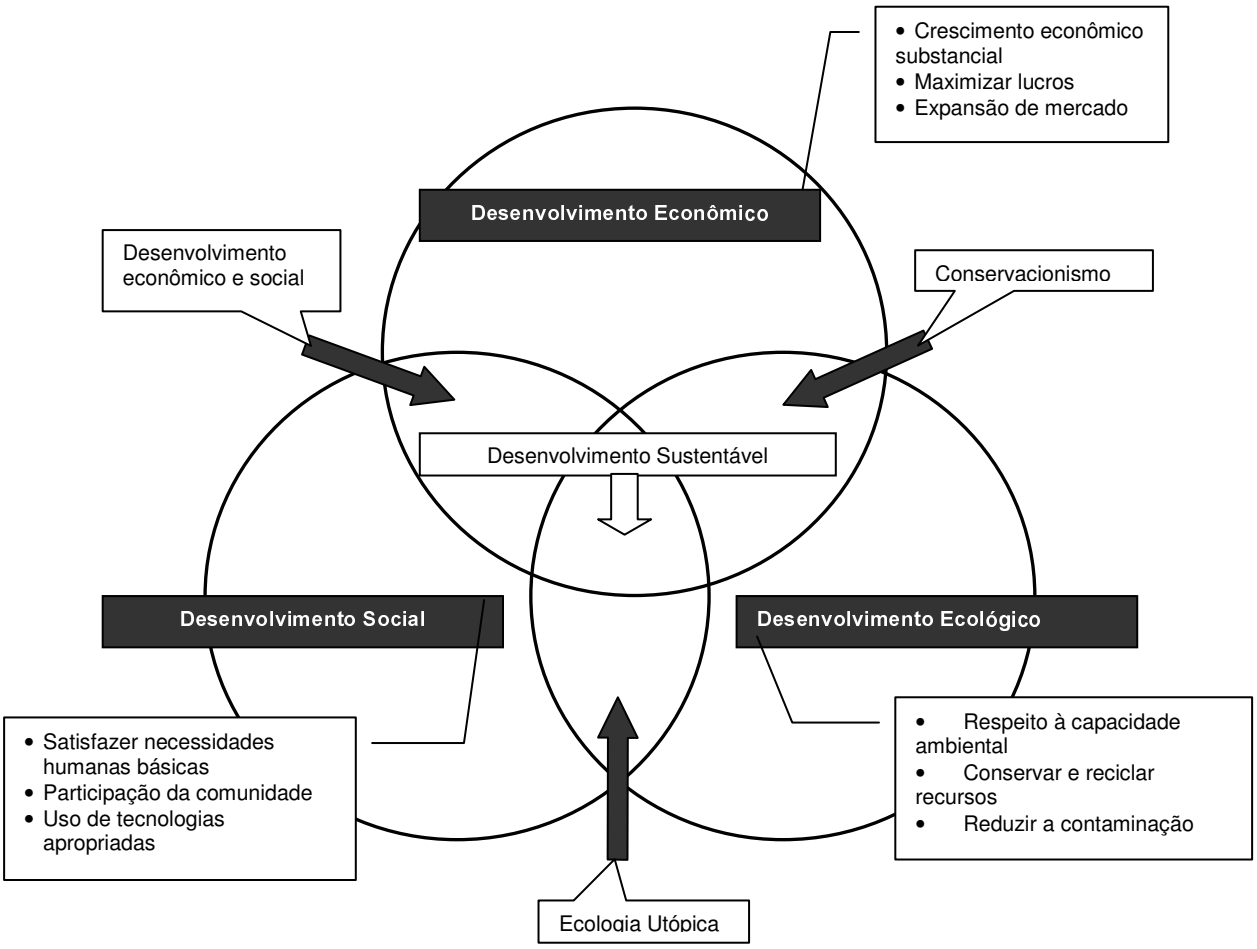

Figura 2.1 - Conceito global de Desenvolvimento Sustentável.
Fonte**:** RIBEIRO (2001)

O colóquio internacional “Cidades do Século XXI”, realizado no fim de 1998 em La Rochelle, França, apresentou essas estratégias de ação, seguindo os princípios de gestão econômica, de harmonia e diversidade, de solidariedade, de transparência, de cidadania, de criatividade e de organização, amplamente aceitos no plano internacional.

A consideração desses avanços leva à definição atual do desenvolvimento sustentável como “a implementação de um certo número de princípios que contribuam para a melhoria do bem-estar, e também da justiça social, com relação aos ecossistemas”.

2.2 Os princípios do transporte sustentável

Os princípios do desenvolvimento sustentável anteriormente evocados e aplicados à adoção de uma política de transportes carecem, portanto, de uma consideração dos transportes no âmbito de uma abordagem global que integre planificação e desenvolvimento local, conforme ressaltaram vários relatórios nacionais.

“As implicações de uma política de transportes não devem simplesmente ser avaliadas nesse setor, mas em todos os outros setores: habitação, urbanismo, meio ambiente, desenvolvimento econômico, desenvolvimento social, vida local” (CDU, 1998).

Por outro lado, a conferência das Nações Unidas sobre os assentamentos humanos, realizada em Istambul em 1996, apontou a desordem ocasionada pelo fenômeno da metropolização incontrolável e ressaltou a importância das cidades, agentes políticos plenos, ao lado dos Estados, para a adoção de políticas de desenvolvimento sustentável, sobretudo em matéria de deslocamentos e de transporte. O fato de que no ano 2004 os habitantes da zona urbana estarão mais numerosos do que os da zona rural, e de que a metade da população urbana se concentrará em cidades com mais de um milhão de habitantes levou as Nações Unidas a identificar a

contenção da metropolização como principal o desafio ao desenvolvimento urbano sustentável.

Assim, os aspectos envolvidos na elaboração de políticas sustentáveis de transportes são um desafio de parceria e de harmonização entre os diferentes agentes da vida pública. Também é um desafio no sentido de se modificar práticas administrativas, de readaptação das morfologias urbanas, integrando, principalmente, as novas formas de trabalho, de serviços, de troca de informações, na busca de uma mobilidade sustentável e uma maior intermodalidade.

2.2.1 Os objetivos do plano estratégico em relação ao transporte sustentável

Em conformidade com os objetivos do plano estratégico da AIPCR – *Association Mondiale de la Route* (Associação Viária Mundial), as orientações definidas para o trabalho do grupo de ligação encarregado do tema transversal "transporte sustentável" foram concentradas no "processo decisório visando um transporte sustentável, levando em consideração o desenvolvimento econômico e social, do meio ambiente e da organização territorial" (CDU,1998).

As grandes questões que se apresentam na maior parte dos países em matéria de transportes sustentáveis envolvem, por um lado, a implementação de políticas integradas de transportes (tanto no plano decisório como no plano da participação social) e, por outro, a solução das contradições entre os interesses setoriais da economia no curto prazo e as aspirações globais da sociedade no longo prazo.

Durante o "Fórum sobre o Futuro do Meio Ambiente e do Transporte", realizado em Chatham House em fevereiro de 1998, os representantes dos países do G-8 reconheceram também essas dificuldades, conforme demonstram as três citações seguintes, extraídas desse relatório: "Estima-se que entre 30 e 40 por cento de todos os deslocamentos poderiam ser destinados a outros meios de transporte sem dificuldades"

...“O transporte aéreo, o menos ”sustentável” de todos os meios de transporte, é o que apresenta, no momento, a mais expressiva taxa de crescimento no mercado.” ... “É importante buscar a adesão do público às estratégias de transportes sustentáveis, e integrar ao funcionamento administrativo os objetivos complementares às metas de transportes nas outras áreas, principalmente na área de organização territorial”. (FÓRUM, 1998).

2.2.2 Integração da sustentabilidade dos transportes às políticas nacionais

A noção de desenvolvimento sustentável já está integrada à regulamentação dos transportes de diversos países, em geral a partir do início da década de 90. Entretanto, certos países somente integram a noção de sustentabilidade dos transportes em termos ambientais, sem considerar totalmente a sustentabilidade em termos de necessidades sociais e de identidades culturais. Em compensação, outros países organizam o conjunto de suas políticas de transportes de acordo com os critérios da sociedade sustentável. É o caso, por exemplo, da Holanda, cujo *Esquema de Estrutura Relativo ao Tráfego e ao Transporte*, publicado em 1990, afirma: “Em toda a extensão do programa governamental, a sociedade sustentável é o critério que escolhemos para a política a ser seguida”.

Nos estados federais, as legislações nacionais e locais integram também a noção de sustentabilidade pelo envolvimento necessário, e até a apropriação, pelas comunidades locais, das políticas de desenvolvimento cujo componente transporte e meio ambiente constituem um dos aspectos de uma política mais global, fortemente articulada entre o nível federal e o local. Pode-se citar, por exemplo, “a abordagem governamental global” (“whole of government approach”) do governo australiano, que integra a justiça social à estratégia de transporte sustentável, que constitui, ela própria, um dos aspectos contidos no processo integrado de planificação australiano publicado em 1992 e que se articula com as políticas integradas de transportes dos diferentes estados australianos (CDU,1998).

Outro exemplo interessante apresentado por ARSENAULT (1998) é o do Quebec, no Canadá, cuja política de meio ambiente e transportes adotada em 1992 tem como princípio basilar a integração da proteção do meio ambiente, do bem-estar da coletividade e do crescimento econômico à uma definição do transporte sustentável que permite aos diferentes públicos portadores de deficiência física ou mental uma melhor acessibilidade aos meios de transporte públicos.

Nos países onde a taxa de motorização ainda cresce de forma acelerada, as políticas se concentram também nas normas técnicas e de segurança dos veículos e das infra-estruturas, no aperfeiçoamento da capacidade das redes, baseado na construção de rodovias como meio de se reduzir os congestionamentos, danos e riscos ocasionados pelo tráfego pesado.

O "Plano de ação para um desenvolvimento urbano sustentável" (FORUM,1998) submetido pela Comissão Européia ao exame do Fórum das Cidades no dia 27 de novembro de 1998, em Viena, adota a abordagem integrada dos problemas de transportes como um de seus principais pontos de referência, baseando-se no conceito da subsidiaridade, na parceria e na eficácia. Esta política européia tem por objetivo uma série de ações concretas para o acesso das pessoas com mobilidade reduzida, a mobilidade sustentável das pessoas que dispõem de um automóvel, a interconexão dos transportes, os terminais multimodais, os motores ecológicos dos veículos públicos (táxi, ônibus, veículos de entrega ou de coleta de lixo etc.) as zonas urbanas funcionais, as zonas urbanas a que os veículos não têm acesso, a reabilitação, a reurbanização, a adaptação das instituições às abordagens mais globais, a participação pública e a responsabilização, com um objetivo a mais longo prazo de modificação dos comportamentos e dos meios de consumo. É importante ressaltar que o conceito de acessibilidade desse plano engloba tanto a mobilidade física como o acesso pelos meios modernos de telecomunicações.

É igualmente importante ressaltar que certas cidades, como a Cidade do México, integraram diretamente o Protocolo de Quioto às suas políticas de transportes, ou que cidades com milhares de habitantes já haviam elaborado, no final da década de

80, políticas de transportes integradas a um conceito de sustentabilidade social e ambiental. Por exemplo, em Curitiba, capital do Estado do Paraná, uma concepção urbana favorável aos transportes coletivos é acompanhada de um bom tráfego, ainda que se trate de uma das cidades mais motorizadas do Brasil.

As orientações dadas pelas cidades no sentido de se instaurarem políticas sustentáveis de transporte são:

- A garantia da substituição do automóvel por outros meios de transporte que melhor respeitem o meio ambiente (limitação do acesso aos centros de aglomeração urbana; recusa de se criarem novos locais de estacionamento).
- O desenvolvimento de meios de transporte alternativos e a promoção da intermodalidade (transportes que combinem a caminhada, a bicicleta, o ônibus, o bonde, o metrô) de passageiros portando bagagens ou não.
- A reconquista de espaços públicos destinados, até o presente momento, aos automóveis (estruturas urbanas de periferia que acumulem as funções de Intermodalidade, de pólos de conexão de serviços e de bilheteria para transportes multimodais e serviços), passa por uma nova repartição dos sistemas rodoviários existentes sem se esquecer dos meios de transportes emergentes ("rollers", bicicletas elétricas, "baratinhas" urbanas de baixa velocidade, etc.) e dos transportes não-motorizados.

2.3 Exemplos de políticas sustentáveis de transportes

As primeiras políticas locais de transportes a integrar a proteção ambiental e, mais tarde, a noção de desenvolvimento sustentável, têm origem no início dos anos 60. No plano internacional, foi o Clube de Roma que demonstrou preocupação com as principais questões de meio ambiente.

Depois da publicação nos Estados Unidos, entre os anos de 1962 e 1968, de diversas obras sobre o futuro do planeta, e a adoção das primeiras medidas relativas

aos problemas de qualidade do ar nas políticas de transportes por volta de 1965, em cidades como Los Angeles, a NEPA, Lei Nacional da Política Ambiental, entrou em vigor nos Estados Unidos no ano de 1970. Em 1997, foi implementada nos Estados Unidos uma lei visando uma abordagem mais integrada.

No Canadá, o governo de Quebec está redigindo atualmente uma política de transporte cujos principais compromissos têm por objetivo promover o desenvolvimento sustentável na área de transportes (sobretudo favorecendo a responsabilização), incluir os princípios do desenvolvimento sustentável na planificação integrada dos transportes e de organização territorial, alcançar a eficiência energética dos transportes e a redução da emissão de poluentes. Essa política enuncia ainda cerca de trinta meios que se referem, principalmente, à organização territorial, aos meios de transportes de alto rendimento energético, à participação do público e às implicações ambientais (ARSENAULT (1998)).

No Japão, a Lei Fundamental para o Controle da Poluição Ambiental (1967) e a Lei sobre a Conservação da Natureza (1972) foram publicadas também no final da década de 60 a fim de garantir de forma ativa a proteção ambiental.

Nos anos 80, surgiram medidas concretas em países europeus, tais como Áustria e Suíça. As “zonas 30” estabelecidas em Graz, na Áustria, em 1980, não demoraram a se espalhar por todos os países e contribuíram com políticas de “medidas sem infra-estrutura”, amplamente disseminadas nos países escandinavos, como a Finlândia, a Noruega e a Suécia.

Na Suíça, a política de transportes integra a noção de transporte sustentável em todos os escalões, e para cada fase do desenvolvimento de uma instalação dedicada aos transportes. Datada de 1983, a lei federal sobre a proteção do meio ambiente serve de base legal.

Na América Latina, a República de Cuba adota uma concepção integral do desenvolvimento sustentável, onde o conjunto de políticas setoriais de desenvolvimento

está ligado à exigência de se proteger o meio ambiente e à utilização sustentável dos recursos naturais em um contexto de justiça e de igualdade social, a fim de se alcançar o mais alto grau de harmonia nas relações da sociedade com a natureza. Tal política é corroborada pelo Artigo 27 da Constituição da República de Cuba: "O Estado outorga sua proteção do meio ambiente e dos recursos naturais do país. O Estado tem ciência de sua estreita ligação com o desenvolvimento econômico e social sustentável a fim de tornar mais racional a vida humana e de garantir a convivência, o bem-estar e a segurança das gerações presentes e futuras".

No México, entrou em vigor regras ambientais dotadas de normas visando controlar as emissões provenientes de fontes fixas e móveis, um programa de aquisição de veículos de transportes urbanos movidos a gás natural, com conversão da frota atual, bem como restrições ao uso de veículos particulares e públicos de acordo com a cidade e o dia (BANCO MUNDIAL,1996).

Em parceria com outros países da Commonwealth, a Comunidade Britânica, a Austrália incorporou uma política de transporte sustentável ao processo integrado de planificação por meio de princípios e objetivos da estratégia nacional intitulada Desenvolvimento Ecologicamente Sustentável – ESD ("Ecologically Sustainable Development"), publicada em 1992, com base na minuta de 1990. As infra-estruturas legislativas, no âmbito de cada estado, refletem igualmente a intenção de se alcançar o desenvolvimento sustentável. O princípio fundamental reside no fato de que um transporte sustentável não pode ser vislumbrado de forma isolada, e tem por obrigação inerente incluir a integração da organização territorial, a gestão do meio ambiente, a justiça social, as possibilidades de emprego e as considerações de desenvolvimento econômico. Vários exemplos concretos são apresentados no relatório australiano (AUSTROADS-1998), como o plano global de longo prazo para a consecução de objetivos de qualidade do ar em Nouvelles Galles du Sud visando obter um crescimento de zero por cento em *VKT (vehicle-kilometres travelled)* [quilômetros rodados por veículo] para cada habitante, do presente momento até o ano 2011 (e obter um crescimento de zero por cento em VKT total do presente momento até o ano 2021), a Estratégia Metropolitana de Transportes (MTS) da Austrália Ocidental, principalmente

com critérios de identificação de vias estratégicas e de ciclovias locais, ou estímulo ao desenvolvimento de corredores para os transportes públicos.

A Nova Zelândia, por sua vez, passou a adotar, a partir de 1991, um processo de planificação integrada a um arcabouço legislativo único. O conceito de transportes sustentáveis foi incorporado a esse processo nos documentos “Transport Directions 1994-1999” [Catálogos de Transporte – 1994-1999] e na “Environment 2010 Strategy” [Estratégia Ambiental para 2010], dando destaque especial à segurança, à sustentabilidade econômica, social e ecológica, a harmonia entre as políticas governamentais, a harmonia entre os meios de transporte, a concorrência em matéria de transporte internacional, o todo encarado por uma ótica de meio ambiente limpo, saudável e insubstituível, preservando-se a natureza e também as necessidades e aspirações da população.

A União Européia, durante os anos 90, integrou por completo a noção de desenvolvimento sustentável na esfera comunitária. As abordagens nacionais, mesmo que tendam a convergir permanecem, não obstante, diferentes por razões culturais e históricas.

A Itália baseou sua política na utilização de um espaço viário mais reduzido, com prioridade para o transporte coletivo urbano, organização das paradas e dos transportes intermodais (estacionamentos perto das estações, coincidência de horários) e limitação do tráfego de automóveis de acordo com a qualidade do ar.

Na Suécia, a política de transportes já tinha como fundamentos, desde os anos 60, a internalização dos custos externos na forma de impostos ou de tarifas. Em 1998, o parlamento sueco estabeleceu cinco objetivos para as políticas sustentáveis de meios de transporte integrados: transporte acessível; alta qualidade do sistema de transporte; segurança viária; preservação do meio ambiente e desenvolvimento regional.

As linhas concretas de ação da política sustentável de transportes estão voltadas para a mobilidade nas aglomerações urbanas (revisão dos planos urbanísticos,

fomento à prática do ciclismo, melhoria dos transportes urbanos, qualidade do ar, “transportes inteligentes”), os transportes de mercadorias (multimodalidade), utilização do automóvel (veículos de propriedade coletiva, transporte cooperativo, automóveis ecológicos, orientação – informação ao público), os trabalhos de infra-estrutura (materiais renováveis para a construção e manutenção, avaliação ambiental, programas de preservação da biodiversidade).

Entretanto, a necessidade de limitar essa exposição restringe a apresentação destes exemplos para que se faça alusão a alguns comentários com relação às dificuldades de integração da sustentabilidade no âmbito de uma política de transportes.

2.4 Dificuldades suscitadas pela sustentabilidade nas políticas de transportes

A principal dificuldade causada pela implantação de uma política de transportes que integre a noção de desenvolvimento sustentável foi colocada em evidência por Anders Jansson, propositor do tema “o meio ambiente nas políticas de transportes” do Comitê “Meio Ambiente”, por ocasião da semana de “Transportes, Meio Ambiente e Segurança de Helsinque” , em maio de 1998, quando afirmou que se uma política pode ser elaborada em dois anos, ela em geral se baseia em décadas de discussões (OCDE – PIARC/AIPCR -1998).

Assim, o serviço de comunicação do parlamento sueco havia proposto o seguinte problema: “O transporte não existe por si só. Os meios de transporte provêm das necessidades exteriores ao setor de transportes. Do mesmo modo, uma política de transportes não existe por si só, mas a fim de satisfazer a objetivos sociais compreensíveis... O desafio de uma política de transportes é o de atingir todos os objetivos... No curto prazo, há conflitos entre os objetivos ou entre as medidas para a sua consecução”.

Além disso, os estudos realizados pelo INRETS – Instituto Nacional de Pesquisas sobre os Transportes e sua Segurança na França acerca da aplicação de diversas políticas nacionais demonstraram que, em caso de conflito, a prioridade quase sempre era dada aos objetivos de curto prazo, e que isso constituía uma das principais razões para a dificuldade de se integrar às preocupações de saúde pública e de proteção ambiental às políticas públicas.

Um outro problema de relevo suscitado para o estabelecimento de uma política de transportes compatível com um desenvolvimento sustentável é a dificuldade de se criar uma estratégia intersetorial de desenvolvimento. A criação de uma política integrada apresenta um outro problema: isto amplia o campo de ação, além de aumentar também a quantidade de critérios decisórios. Isso torna o processo decisório mais complexo, além de exigir o exame de uma longa série de impactos. Desse modo, a interação entre as dimensões ecológicas, sociais, culturais e econômicas do desenvolvimento sustentável é extremamente difícil de ser incluída no enunciado de uma política.

O aumento contínuo do tráfego de veículos gerado pela demanda social, combinado ao crescimento demográfico e ao fenômeno da metropolização, multiplica consideravelmente os problemas e carece da implementação de medidas drásticas e impopulares perante os cidadãos, colocando em risco os interesses econômicos das grandes empresas e os “lobbies” da construção viária e de automóveis. Este tipo de conflito entre o curto e o longo prazo, juntamente com fenômenos não controláveis, constitui uma das maiores dificuldades da sociedade atual. Estes problemas se apresentam principalmente nos países que tomaram medidas ambientais precocemente, como por exemplo, o Japão. Apesar das leis de 1967 e 1972, o Japão hoje está sujeito a uma “infinidade de problemas ambientais provocados por uma drástica elevação da demanda de tráfego de automóveis, de concentração populacional e de indústrias nas áreas metropolitanas” (Okudaira, 1998)

2.5 Aspectos Ambientais

O estilo de vida da população urbana nas últimas décadas tem demandado a realização de vários deslocamentos para atender às necessidades vitais de sobrevivência. A queda da qualidade nos transportes públicos incentivou o uso do transporte privado, acarretando congestionamentos nas vias e deteriorando sensivelmente a qualidade de vida (Vasconcellos, 1996). Um dos principais reflexos dessa situação é o aumento da poluição do ar e sonora, uma vez que estão intimamente relacionados com o tráfego urbano.

Algumas características operacionais do tráfego urbano das grandes cidades, como a baixa fluidez e a falta de manutenção dos veículos, influem fortemente nos níveis de emissão de poluentes. A emissão de gases e material particulado (MP), pode alterar as características físico-químicas da atmosfera e afetar o meio ambiente e a saúde humana.

De acordo com Vasconcellos (1996); os impactos da poluição atmosférica, especialmente nas grandes cidades, vêm tomando proporções assustadoras, seja em função do crescimento populacional e ou devido ao crescimento motorizado. A poluição atmosférica atingiu níveis intoleráveis em muitas cidades do mundo, onde várias cidades brasileiras já excedem os limites sugeridos pela Organização Mundial de Saúde (OMS).

A emissão de poluentes dos veículos automotores tem sido considerada uma das principais fontes de poluição do ar, podendo variar de acordo com o tipo de motor.

Apesar dos motores a diesel serem os grandes emissores de material particulado, os veículos leves com motores do ciclo *Otto* (gasolina e álcool) são também considerados grandes contribuintes para a contaminação atmosférica urbana, devido ao seu grande número nas vias.

O problema se agrava em áreas urbanas de elevado adensamento populacional, como as áreas centrais e os corredores de tráfego, em vista do alto volume de veículos, que lançam continuamente poluentes na camada atmosférica.

Segundo Braz (1998), as emissões de Monóxido de Carbono (CO) diminuem a quantidade de oxigênio absorvido pela hemoglobina do sangue e isto, por sua vez, diminui a capacidade de oxigenação do cérebro, do coração e de outros órgãos do organismo. Pode provocar desmaios, dores de cabeça, redução dos reflexos, fazendo com que as pessoas tenham reações lentas. O CO é o principal responsável pelos acidentes de trânsito em áreas onde há uma alta concentração de emissões deste gás através dos canos de escape dos automóveis.

Os hidrocarbonetos (HC) produzem irritação nos olhos, no nariz e na pele. Reduzem também a visibilidade do ambiente e como conseqüência tendem a produzir um aumento no número dos acidentes de trânsito nas ruas das cidades.

Os Óxidos de Nitrogênio (NOx) provocam irritação e congestão das vias respiratórias, diminuindo a resistência orgânica às infecções e provocando insuficiência pulmonar.

O Material Particulado afeta os alvéolos pulmonares, produz alergia, asma, bronquite crônica e agravante dos sintomas produzidos por outras emissões.

2.5.1 Efeitos das emissões na saúde

O material particulado consiste de substâncias sólidas ou líquidas, podendo ser visíveis ou não. As pequenas partículas inaláveis (PI), menores que 10 μm (mícrons), também conhecidas como PM10, são perigosas à saúde humana uma vez que o organismo humano não possui defesas contra tais partículas, ocasionando o agravamento de doenças respiratórias e até ao câncer. Segundo Derísio (1992), o

material particulado além de causar danos à saúde da população, traz danos também aos materiais, às propriedades da atmosfera, à vegetação e à economia. Essas partículas afetam a visibilidade e podem ser transportadas a longas distâncias pelo vento, atingindo as residências ou áreas mais distantes da fonte poluidora. Cabral (1999) relata que uma quantidade substancial de recursos é gasta anualmente com tratamentos de doenças relacionadas à poluição, internações, limpeza de fachadas de prédios, monumentos e substituição de equipamentos danificados pela corrosão.

Óxido de Nitrogênio (NOx)

O monóxido (NO) e o dióxido (NO_2) de nitrogênio são resultados da combustão do nitrogênio, que é o gás mais presente na atmosfera (78% do total). Quando o nitrogênio se encontra em alta temperatura (processo de combustão) reage com o oxigênio. Nesta reação, ele captura algumas moléculas de oxigênio, formando o Monóxido de Nitrogênio (NO) e o Dióxido de Nitrogênio (NO_2); quanto mais alta a temperatura da combustão, maior será a formação destes dois gases poluentes. Na atmosfera, estes gases têm dois efeitos básicos: podem reagir com a água e formar chuva ácida (ácido nítrico) e/ou acidificar a água da chuva, causando o mesmo efeito do ácido sulfúrico.

O NO e o NO_2 são instáveis e reagem com muita facilidade na atmosfera e se transformam em outras substâncias: com a luz solar, ocorre a liberação de uma molécula de oxigênio que se associa ao oxigênio presente no ar formando o O_3, que é o Ozônio. Essa substância é prejudicial à saúde, pois irrita a mucosa. Ele faz parte de um grupo de poluentes chamado oxidantes fotoquímicos, que são elementos que se formam na atmosfera, na presença da luz, devido à presença de diversos poluentes, como hidrocarbonetos.

Enxofre

No óleo diesel, por exemplo, o teor de enxofre equivale à cerca de 1% do seu peso; assim, para cada 100 kg de óleo diesel tem-se 1 kg de enxofre. A queima do óleo

diesel emite enxofre, que ao reagir com o oxigênio dobra seu peso molecular, formando o SO_2. Devido a esta reação, a queima de 1 tonelada de óleo diesel emite teoricamente 20 kg de SO_2.

O enxofre é prejudicial ao meio ambiente porque é um dos maiores causadores da chuva ácida. Dependendo do grau da umidade atmosférica, ele se transforma em ácido sulfúrico H_2SO_4 e, quando chove, a água vem carregada deste ácido, que provoca corrosão, danifica a vegetação, materiais e altera o pH do solo e das águas dos rios. Entre os diversos males que ele provoca à saúde estão: coriza, catarro e danos irreversíveis aos pulmões. Em doses altas pode ser fatal.

Dióxido de Carbono (CO_2)

O dióxido de carbono é resultado da queima completa do carbono. Ele é um gás inerte, não é tóxico, mas seu grande problema é que quando vai para a atmosfera dificulta o retorno para o espaço de algumas radiações que incidem sobre a Terra. É um dos vilões do efeito do aquecimento global, o chamado efeito estufa.

Monóxido de Carbono (CO)

O monóxido de carbono é resultado da queima incompleta do carbono e é muito prejudicial à saúde do homem, pois desloca elementos no sangue e dificulta a oxigenação. Seus efeitos prejudiciais à saúde são: diminuição da oxigenação do sangue, causando tonturas e vertigens. Além disso, provoca alterações no sistema nervoso central. Pode ser fatal em doses altas em ambientes fechados. Doentes cardíacos, portadores de angina crônica, são considerados o grupo mais suscetível aos efeitos da exposição ao CO.

Serroa da Motta (1995) reafirma que nos dias em que a poluição ultrapassava o limite permitido de padrão primário para material particulado e dióxido de enxofre, os gastos com doença se elevaram considerando os custos médicos e a perda de

rendimento e produção na atividade durante os dias em que as pessoas permaneciam doentes.

Nesse sentido, diversos estudos realizados na medicina relacionam doenças associadas ao excesso de poluentes atmosféricos. De acordo com o Laboratório de Pesquisa Atmosférica da Universidade de São Paulo - USP, os dados de concentrações obtidas pelas subestações medidoras da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB, instaladas no município de São Paulo foram relacionados com o número médio das internações por doenças respiratórias, quando atingiam uma concentração média de partículas inaláveis de 170 $\mu g/m^3$. Esses dados apresentaram um aumento de 20 a 25% de pessoas com problemas respiratórios e as mortes por insuficiência respiratória aumentaram de 10% a 12% (SERROA DA MOTTA,1995).

2.5.2 Padrões de qualidade do ar

Os padrões de qualidade do ar brasileiros são os mesmos adotados pela *Environmental Protection Agency (EPA)* dos Estados Unidos. Os padrões de qualidade do ar foram definidos em 1976, pela Portaria do Ministério do Interior MINTER nº 0231, para partículas totais em suspensão, dióxido de enxofre, monóxido de carbono, dióxido de nitrogênio e ozônio. Até 1989 a legislação brasileira estabelecia padrões nacionais apenas para partículas totais em suspensão, ou seja, as partículas maiores que 100 mícrons. No entanto, diversos estudos realizados na medicina mostraram que são as partículas menores que 10 mícrons, também chamadas de partículas finas ou inaláveis, as mais prejudiciais à saúde humana, devido à facilidade de inalação. Dessa forma, a legislação brasileira, em 1990, a partir da Portaria Normativa nº 348 ampliou o número de parâmetros, estabelecendo padrões de qualidade do ar para partículas inaláveis e fumaça. Estes padrões foram submetidos ao CONAMA em 28/06/90, e transformados na Resolução CONAMA nº 03/90 na qual o IBAMA estabelece os padrões primários e secundários para os poluentes que se encontram com mais freqüência e em maior quantidade na atmosfera. Esta resolução estabelece também episódios agudos de

poluição. Os poluentes contemplados e os padrões primários e secundários estabelecidos pelo CONAMA estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Padrões nacionais de qualidade do ar dos principais poluentes

POLUENTE	TEMPO DE AMOSTRAGEM	PADRÃO PRIMÁRIO $\mu G/M^3$	PADRÃO SECUNDÁRIO $\mu G/M^3$	MÉTODO DE MEDIÇÃO
Partículas totais em suspensão (PTS)	24 horas* MGA**	240 80	150 60	Amostrador de grandes volumes
Fumaça	24 horas* MMA***	150 60	100 40	Refletância
Partículas Inaláveis	24 horas* MMA	150 50	150 50	Separação inercial/ filtração
Dióxido de enxofre	24 horas* MMA	365 80	100 40	Pararosalínica
Monóxido de carbono	1 hora* 8 horas*	40.000 (35 ppm) 10.000 (9 ppm)	40.000 (35 ppm) 10.000 (9 ppm)	Infravermelho não-dispersivo
Ozônio	1 hora*	160	160	Quimiluminscência
Dióxido de nitrogênio	1 hora MMA	320 100	190 100	Quimiluminscência

Fonte: CONAMA 1990

* Não deve ser excedido mais de uma vez ao ano

** Média Geométrica Anual

*** Média Aritmética Anual

Os limites de concentração de poluentes estabelecidos nessa resolução ocorrem de acordo com a resistência do organismo humano em relação ao grau e tempo de exposição à poluição. Conforme a tabela a seguir, esses limites foram estabelecidos de acordo com a média das emissões diárias, referentes a um período de um ano bem como, para a média de emissões referentes a um período de 24 horas, oito e uma hora, dependendo do poluente, além de estabelecer níveis para Episódios Críticos de Poluição do Ar. Neste plano são especificados os níveis de contaminação (atenção, alerta e emergência) que devem ser respeitados e as medidas a serem tomadas caso estes níveis sejam alcançados. É importante ressaltar que as

concentrações médias de 24 horas não devem ultrapassar o padrão primário mais do que um dia no ano conforme apresentado na Tabela 1.

As unidades usadas para medir os poluentes são: o peso das partículas por unidade de volume de ar, isto é, miligramas ou microgramas por metro cúbico (mg/m^3, $\mu g/m^3$) ou partículas por milhão de partes de mistura ar/gás (ppm).

Populações metropolitanas têm sido as principias vítimas da poluição do ar, que varia na intensidade, em função das características de cada região, nem tanto na sua forma e nos efeitos que pode provocar. Estes efeitos foram estimados como os custos de saúde associados à poluição do ar, considerando-se que estes custos seriam, por um lado, a produção sacrificada resultante da perda de dias de trabalho e da morte prematura de pessoas vitimadas pelas doenças do aparelho respiratório e, por outro, a produção que seria viabilizada caso os gastos hospitalares incorridos no tratamento e diagnose destas doenças fossem convertidos para outras atividades.

Custos de saúde associados à poluição atmosférica no Brasil são 0,84 US$ por habitante (SERROA DA MOTTA, 1995).

A revisão bibliográfica sugere que uma variação de $10g/m^3$ de material particulado inalável implica, em média, uma variação de 1,24% na taxa de mortalidade devida a doenças no aparelho respiratório. Diminuição de 1% na poluição do ar, representada por material particulado total e SO_4, resulta numa redução de 0,12% na taxa de mortalidade. Estes dados revelam claramente que uma política de controle de poluição atmosférica deve ser primordialmente desenhada e que sua prioridade deve ser colocada a redução de consumo de combustível Diesel. Uma das alternativas de esta redução é a substituição de combustível diesel pelo gás natural comprimido.

Em relação às questões ambientais, o gás natural é muito menos poluente que o óleo diesel ou qualquer outro combustível fóssil. Trata-se de um combustível mais “limpo” e ecologicamente mais correto. A queima do gás natural emite uma quantidade

insignificante de material particulado, pouquíssimo SO_2 e menos CO, hidrocarbonetos e óxido de nitrogênio.

Com relação à emissão de enxofre, o gás natural apresenta enormes vantagens em relação aos combustíveis derivados do petróleo. Na verdade, a composição química do gás natural é isenta de enxofre e pouca quantidade deste elemento existente na queima do produto é resultado do odorante que é colocado no gás natural para deixar o produto com cheiro característico de gás, já que este combustível é inodoro. A adição de odorante é feita para identificação no caso de vazamentos, por motivos de segurança.

Sem sombras de dúvidas, em uma avaliação global, a utilização do gás natural traz ganhos ambientais para a sociedade quando usado em substituição a outros combustíveis fósseis e, se ampliado um pouco mais os horizontes, será possível vislumbrar que os ganhos econômicos que trariam para a sociedade, pois é necessário ser computada a redução dos custos de saúde da população, ganhos de qualidade de vida, um ar mais puro, uma vida mais saudável.

Capítulo 3 Segunda Fase do Uso de Energia em Transporte - Transporte Sustentável

3.1 Transição energética

Nota-se claramente a evolução dos combustíveis na história humana. Um longo período, da aurora das civilizações até a era industrial, predominou a fase sólida com a lenha que, posteriormente, foi substituída pelo carvão mineral. Essa substituição, ao invés de trazer benefícios para a preservação das florestas, manteve a exploração indiscriminada da lenha, pois como a necessidade energética passou a ser suprida pelo minério, a lenha foi liberada para outros fins, como a marcenaria bélica e de produção. Grandes áreas florestais desapareceram por conta do desenvolvimento, para citar exemplos na Argentina, nas províncias de Córdoba e Santa Fé, e notadamente na mata Atlântica brasileira. No período de 1920 a 1934, houve a mais rápida destruição da floresta Atlântica, calculada em mais de três mil km^2 por ano. Na metade do século XX apenas 18% do território do Estado de São Paulo ainda permanecia com cobertura florestal, sendo que originalmente essa proporção era de 85%.

Há pouco mais de um século, o aproveitamento do petróleo inaugurou a fase dos combustíveis líquidos. Os combustíveis fósseis são fontes de carbono e hidrogênio originadas a partir da fotossíntese ocorrida a milhares de anos atrás. Os animais utilizam os produtos e os subprodutos da fotossíntese a uma taxa próxima a que as plantas tornam a utilizar o gás carbônico e a água resultante do metabolismo animal. Mas, os veículos e as centrais termelétricas podem utilizar os produtos e subprodutos da fotossíntese a uma taxa muito superior ao processo de reciclagem da matéria.

Atualmente, nota-se um empenho pela utilização do gás natural e futuramente do hidrogênio. Com isso, delineia-se no horizonte energético a “fase gasosa”. Essa evolução na utilização dos combustíveis é citada por muitos autores como a

descarbonização da economia, pois os combustíveis utilizados têm cadeias carbônicas cada vez menores.

Essa tendência histórica tem sido demonstrada, por exemplo, por Hefner (RIBEIRO, 2001). A Figura 3.1 ilustra o gráfico de um modelo de transição para os combustíveis gasosos no mundo.

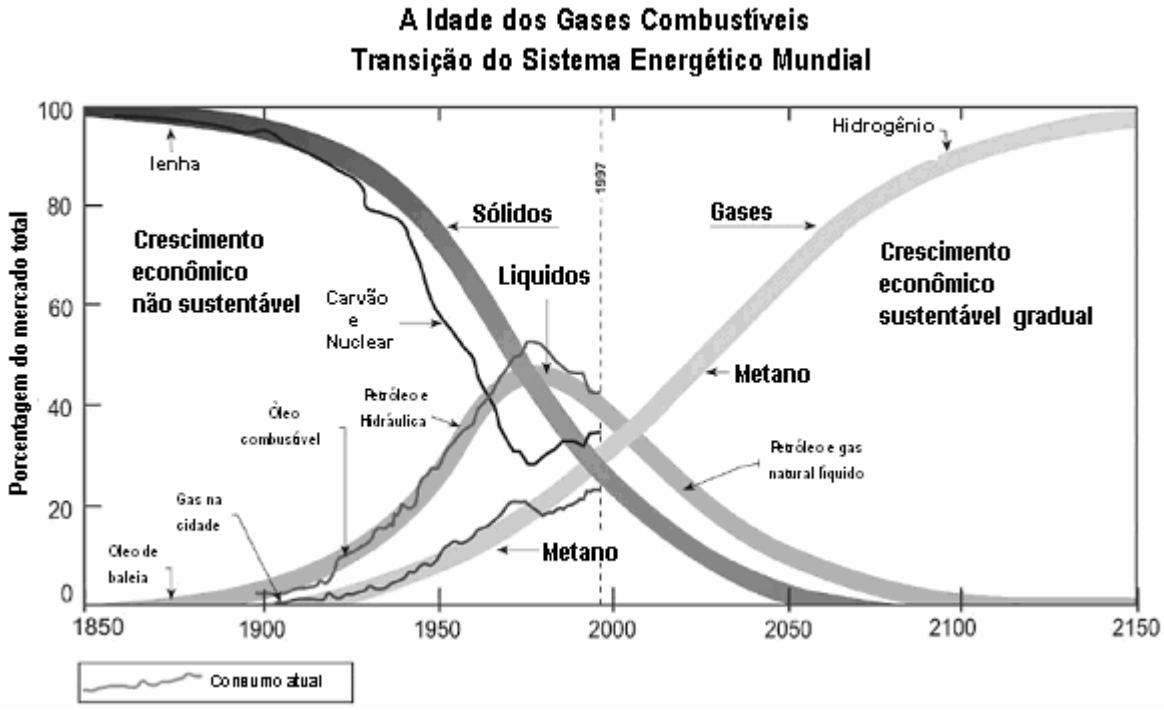

Figura 3.1 – Transição do sistema energético global: 1850-2150

Fonte: Adaptado de HEFNER (2002)

A energia é um insumo essencial para a humanidade e sua busca sempre mobilizou a sociedade. A princípio, e por um longo período, a energia serviu somente para satisfazer suas necessidades básicas, como cocção de alimentos, aquecimento e defesa. A partir da era industrial, no entanto, há três séculos apenas, é que se intensificou a exploração dos recursos naturais para obtenção de combustíveis de maior densidade energética. Primeiramente, sólidos como o carvão, depois com os líquidos derivados do petróleo e, atualmente, se esta presenciando a ascensão do consumo de

combustíveis gasosos como o gás natural, bem como de todas as mudanças estruturais e tecnológicas necessárias ao seu aproveitamento em larga escala.

Há um consenso na comunidade mundial que a era do petróleo barato está terminando. Os poços de petróleo que estão sendo descobertos fazem parte de bacias *off-shore* com custos crescentes de extração. As grandes bacias petrolíferas se encontram em países do Oriente Médio, onde a instabilidade política não garante a tranqüilidade almejada pelo Ocidente. Além disso, as questões ambientais associadas à utilização dos combustíveis fósseis são motivo de preocupação da comunidade internacional. Esses fatores implicarão inevitavelmente em custos crescentes para a sociedade, cuja economia está baseada no petróleo.

No Brasil, o setor de transporte no ano 2002 foi responsável por 48,5% de todo o consumo de derivados de petróleo. Esta dependência não poderá estender-se por um longo período, devido ao fato do petróleo ser um recurso natural finito. Ademais, sua queima gera a emissão de vários contaminantes atmosféricos, com forte impacto ambiental urbano, que no nível regional se manifesta como chuva ácida e no nível global produz a intensificação do efeito estufa. Assim é que o desenvolvimento de um modelo de transporte sustentável deve buscar a redução do consumo e a substituição de combustíveis derivados de petróleo, o que permitirá reduzir substancialmente as emissões de contaminantes produzidos pela combustão, tais como hidrocarbonetos não queimados (HC), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NOx) e de enxofre (SOx) e material particulado (MP). Uma das alternativas de substituição de combustíveis derivados do petróleo é o gás natural.

3.2 Combustíveis gasosos

3.2.1 Gás natural

O consumo de gás natural vem aumentando continuamente no mundo. Isso se deve principalmente à abundância das reservas (em 2002 as reservas mundiais

situavam-se em $156 \times 10^9 m^3$, o que significa em média, uma disponibilidade desse recurso durante 60 anos, calculado com níveis da atual produção), às propriedades intrínsecas desse combustível (combustão mais limpa, fácil manuseio, eficiência e flexibilidade) e, além disso, um preço competitivo frente aos demais combustíveis. O uso do gás trás benefícios ambientais, pois os efeitos da combustão sobre o ar e o clima são inferiores aos provocados pelos outros combustíveis fósseis (OECD/IEA, 2002).

Na Figura 3 mostra-se a evolução do consumo de gás natural, mundial e da América Latina, de 1970 a 2001, e a projeção do aumento de consumo até 2025. O consumo de gás na América Latina cresceu rapidamente, atingindo 3,9% do consumo mundial em 2001. Entre 1990 e 2001 o crescimento foi de 73% e, de acordo com a projeção, isso corresponderá a aproximadamente 7% do consumo mundial. De acordo com as estatísticas da EIA/DOE (2003), prevê-se que até o ano de 2025 o consumo de gás natural irá crescer mais de três vezes em relação a 2001, o que representará um desafio para a matriz energética de muitos países e em especial para Brasil.

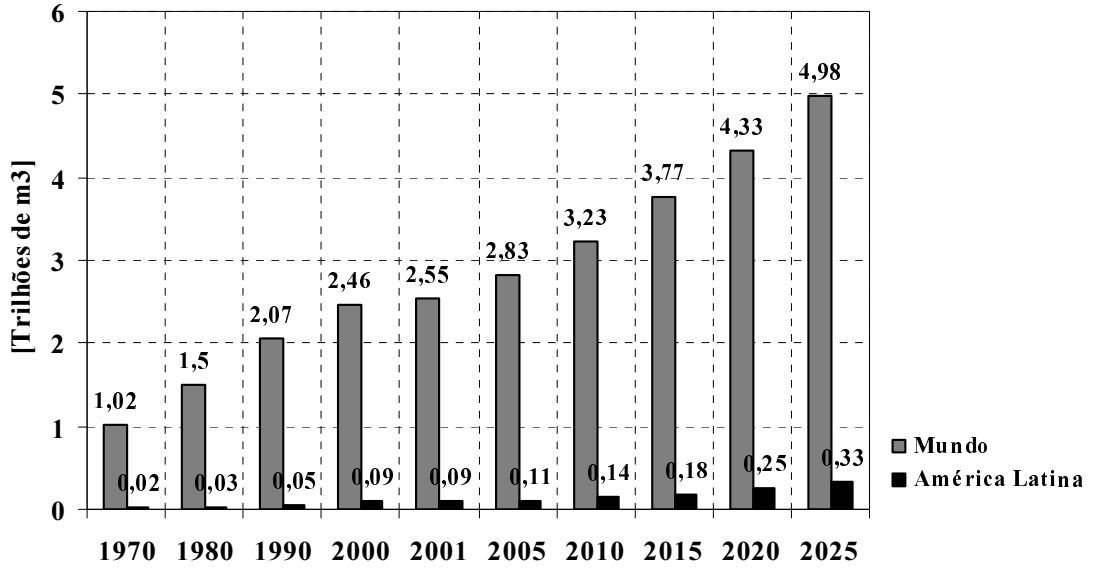

Figura 3.2 – Consumo mundial e da América Latina de gás natural 1970-2025
Fonte: Adaptado de EIA/DOE (2003)

Ao contrário do petróleo, que na sua maior porção é empregado no setor de transportes, o gás natural é hoje utilizado principalmente em aplicações estacionárias. Nestas, incluem-se: a geração de eletricidade; o atendimento da demanda de calor residencial e comercial; a indústria petroquímica, como gás de processo; e a produção de vapor industrial. Nos países membros da Organização para Cooperação Econômica e Desenvolvimento (OECD), os setores residencial e comercial consomem a maior parte, ou seja, 35% do gás. Já o setor de transportes, que está incluso dentro do item "Outros" da Tabela 2, representa 11% do consumo total de gás.

Tabela 2: Distribuição do consumo de gás natural por setor (2000)

	Total OECD		**Am.do Norte**		**Pacífico**		**Europa**	
	106 m^3	%	106 m^3	%	106 m^3	%	106 m^3	%
Residencial / Comercial (1)	483,85	35	263,70	34	28,28	23	191,87	40
Indústria	347,29	25	182,24	24	24,85	20	140,19	30
Geração de potência (2)	391,78	29	210,81	27	66,86	53	114,11	24
Outros (3)	145,80	11	113,38	15	5,53	4	28,91	6
Total	1.368,72	100	768,13	100	125,52	100	475,08	100

Fonte: EIA/DOE (2003)

(1) incluindo agricultura
(2) Incluindo co-geração
(3) Setor de energia, calor distrital e setor de transporte.

No Brasil, no ano de 2002, a oferta interna bruta de gás natural era de $17{,}31 \times 10^9$ m^3. Porém, foram consumidos apenas $11{,}52 \times 10^9$ m^3, que representam somente 66,5% da quantidade disponível. O setor de transporte rodoviário consumiu 1×10^9 m^3, ou seja, 8,7% do consumo total de gás natural.

Embora o gás natural ainda seja pouco empregado no setor de transportes no Brasil, há uma expectativa de uma maior participação futura. A emissão veicular de gases de efeito estufa e gases tóxicos são uma forte razão para isso.

3.2.2 Metano (CH_4)

O gás natural é uma mistura de hidrocarbonetos leves que na temperatura ambiente e a uma pressão de 1 atmosfera permanece em estado gasoso. Este combustível pode ser produzido em poços de gás (forma não associada) ou juntamente com a extração de petróleo (forma associada). Sua composição pode variar dependendo do fato do gás estar associado ou não ao óleo, ou de ter sido ou não processado em unidades industriais. A composição básica inclui metano, etano, propano e hidrocarbonetos de maior peso molecular (em menores proporções). Normalmente ele apresenta baixos teores de contaminantes como nitrogênio, dióxido de carbono, água e compostos de enxofre.

Tabela 3: Composição típica do gás natural

Elementos	Associado (1)	Não-associado (2)	Processado (3)
Metano	81,57	85,48	88,56
Etano	9,17	8,26	9,17
Propano	5,13	3,06	0,42
I-Butano	0,94	0,47	-
N-Butano	1,45	0,85	-
I-Pentano	0,26	0,20	-
N-Pentano	0,30	0,24	-
Hexano	0,15	0,21	-
Heptano e Superiores	0,12	0,06	-
Nitrogênio	0,52	0,53	1,20
Dióxido de Carbono	0,39	0,64	0,65
TOTAL	**100**	**100**	**100**
Densidade de vapor	0,71	0,69	0,61
Riqueza (% Mol C3+)	8,35	5,09	0,42
Poder Cal. Inf. (Kcal/m3)	9.916	9.583	8.621
Poder Cal.sup. (Kcal/m3)	10.941	10.580	9.549

Observações:

1. Gás do campo de Garoupa, Bacia de Campos
2. Gás do campo de Miranga, na Bahia
3. Saída da UPGN Candeias, na Bahia

Fonte: Agência Nacional do Petróleo-2004

O gás natural comprimido (GNC) é gás metano, praticamente puro.

É transportado através de gasodutos e utilizado tanto em usinas elétricas, empresas industriais como também para fins domésticos. Através dos gasodutos, o metano vai com uma pressão entre 5-7 MPa; para seu uso doméstico, a pressão se reduz a níveis apenas superiores à atmosférica. Para sua utilização como combustível de automóveis, o gás é comprimido nas estações compressoras de gás até pressões de 25 MPa, depois do qual é carregado nos cilindros dos automóveis. Nos cilindros se conserva em estado gasoso. Durante seu uso a pressão do gás nos mesmos diminui.

O GNC é fortemente recomendado como um combustível de alta qualidade para o motor. Sua grande resistência à detonação permite aumentar a pressão no cilindro do motor. O uso de GNC diminui a quantidade de fuligem produzida dentro do motor, aumenta a duração do óleo lubrificante e diminui o desgaste do mesmo.

Não entanto o uso do GNC como combustível traz paralelamente alguns inconvenientes. Para a conversão de veículos ao uso de GNC existem alguns problemas. Um deles é o armazenamento do GNC no veículo; por exemplo, a densidade do metano é mil vezes menor que a densidade da gasolina. Por isso, se ao carregar o veículo com metano com pressão atmosférica para a mesma quantidade energética de combustível gasolina, é necessário um tanque de combustível 1000 vezes maior que o tanque de gasolina. Para não transportar um veículo com um acoplado com GNV deve-se aumentar a densidade do gás e isto se consegue através da compressão do metano até 20-25 MPa (200-250 atm). Para armazenar GNC nestas condições se usam cilindros especiais de alta pressão. Os cilindros de gás ocupam bastante espaço e ademais sua capacidade de armazenagem não permite fazer uma viagem de longa distância, pois só é suficiente para 200-300 km.

Estes inconvenientes presentes nos automóveis que funcionam com GNC podem ser eliminados ou minimizados através de modificações no sistema de alimentação do motor, ou no motor mesmo ou no automóvel em sua totalidade.

3.2.3 Propano-Butano

O propano-butano é produzido do petróleo e dos gases da gasolina que acompanham o petróleo. Para que esta mistura se mantenha em estado líquido, é conservada e transportada a uma pressão de 1,6 Mpa (16 atm). Por suas características, o propano-butano - Gás Liquefeito de Petróleo (GLP), praticamente não tem diferenças comparado com o GNC. Tem o mesmo alto número de octanagem, as mesmas características de explosão. Só supera o GNC em sua capacidade de

armazenamento de GLP no veículo. Neste trabalho não se estuda o uso desse combustível para transporte.

3.3 Utilização do gás natural no transporte

Quando nos anos 30 do século XIX o inventor inglês Barnett registrou a patente para o motor de gás e em 1860 o inventor francês E. Lenuar construiu o motor que usava como combustível gás natural, ninguém foi surpreendido pela eleição deste combustível, já que naquele tempo a gasolina, todavia, não havia sido inventada. Só depois de duas décadas Gotlib Daimler inventou o motor a gasolina, que conquistou o mundo. O gás natural, como combustível de motor, foi esquecido por muito tempo e no final dos anos 30 do século XX renasceu a idéia do uso de gás como combustível para os automóveis.

O aproveitamento do gás natural no transporte urbano é realizado através da combustão em motores de combustão interna, particularmente em motores com ignição por centelha (ciclo Otto). Também é considerada a utilização em motores de ignição por compressão (ciclo Diesel), onde o gás natural é o combustível principal e o óleo diesel é utilizado para incendiar a mistura ar / gás, promovendo uma melhor queima e menor emissão de particulados e gases nocivos.

As investigações científicas comprovaram que o uso de GNC no lugar da gasolina não é uma solução forçada, ao contrário, o gás natural no motor dos automóveis é queimado de forma mais completa que a gasolina e por essa razão a concentração de monóxido de carbono em emissões de gases de escape é várias vezes menor. Praticamente não haverá enxofre, porque o gás natural o contém em quantidades insignificantes.

É certo que os motores a gasolina e os que usam como combustível o gás natural emitem hidrocarbonetos em quantidades quase iguais. Porém, para a saúde humana, o perigo não está apenas nas quantidades de hidrocarbonetos emitidos, mas,

sim, nas diferentes espécies químicas presentes. Os motores a gasolina emitem substâncias com capacidade de acidificar-se rapidamente, enquanto os motores que usam gás natural emitem principalmente metano. Por ser menos propenso à reação de acidez, o metano emitido é considerado menos danoso que a emissão de gases de escape provenientes dos motores a gasolina.

O gás natural veicular como combustível para os automóveis, por suas características, supera a gasolina. Como se sabe, quanto mais se comprime o combustível dentro do cilindro do motor sem detonação, maior será a potência obtida do mesmo. A capacidade de antidetonação do gás natural é melhor que a de qualquer tipo de gasolina; a octanagem do gás natural é igual a 105, enquanto que da gasolina varia entre 72 e 98.

O motor de combustão interna usa uma mistura de ar com o combustível disperso. Para que a mistura possa ser incendiada, esta precisa ter uma determinada concentração de combustível. O gás natural veicular, comparado com a gasolina, se incendeia com concentrações de combustível menores, ou seja, em misturas “pobres”. Aumentando a concentração de gás na mistura "ar-combustível” (enriquecendo) se pode conseguir um aumento da potência do motor e, ao contrário, “empobrecendo” a mistura se pode diminuir a potência do motor. Neste aspecto, o gás natural é mais “obediente” que a gasolina.

Segundo o Centro de Investigação Científica NAMI (Federação Russa) o combustível fóssil mais ecológico é o GNC. Através de investigações realizadas comparando o GNC com outros tipos de combustíveis tradicionais mostrou-se que praticamente todos os componentes dos gases de escape (CO, HC, NOx e Material particulado) diminuem de maneira substancial (LAVRUS, 1997).

Desde o ano 1982, segundo o programa de governo da ex-URSS, estava-se produzindo mais de 30 modelos de caminhões e ônibus (com uma produção de mais de 100.000 unidades) que usavam GNC como combustível. Existe uma vasta experiência

no uso massivo de ônibus e caminhões com este combustível em grandes centros urbanos como Moscou, São Petersburgo, Kiev e Tashkent.

A experiência no uso de GNC como combustível, recopilada pelo Instituto de Investigação do Ministério de transporte da Ucrânia, demonstra que existem duas alternativas no uso de GNC: seu uso em um motor especialmente desenhado para GNC e seu uso em motores diesel transformados para seu funcionamento no ciclo de gás-diesel.

Estes motores foram desenvolvidos com a finalidade de se substituir parcialmente o óleo diesel por GNC em veículos equipados com motores no ciclo Diesel. Conforme o descrito anteriormente, nos motores que operam com ciclo diesel, o início da combustão é feito através da auto-ignição do combustível. Como a temperatura de auto-ignição do gás natural é muito elevada, esta reação não se processa com facilidade como ocorre com o diesel. Para contornar este problema, neste tipo de motores promove-se uma "injeção piloto" de óleo diesel nos cilindros, em quantidade suficiente apenas para iniciar e inflamar a mistura de ar+gás. Para o caso de uso de motores diesel transformados para funcionar no ciclo de gás-diesel, a mistura é composta por 15% de diesel e 85% de gás natural, com uma taxa de $1m^3$ do GNC por 0,9 litro de combustível diesel (estes dados serão usados neste trabalho para fazer os cálculos posteriores).

A exploração em massa na Rússia dos veículos que utilizam gás natural como combustível demonstrou que os motores trabalham 1,5-2 vezes mais sem necessidade de reparos. Isto se deve ao fato de que, durante a combustão de gás, praticamente não se forma material particulado, que desgasta os cilindros e êmbolos, além do fato de que a película lubrificante que os cobre não ser removida pelo gás, como ocorre no caso da gasolina, corroendo menos as partes metálicas.

O Brasil também conta com alguma experiência no uso de GNC como combustível para transporte. Alinhado com os objetivos do PLANGAS, desde o início da década de 80, o Centro de Pesquisas da Petrobrás efetuou vários desenvolvimentos

em dispositivos de conversão de motores Diesel para o uso de mistura gás-diesel. Além dos testes de bancada, inclusive com dispositivos importados, 18 veículos da frota de ônibus da cidade do Rio de Janeiro foram submetidos a testes de campo em 1985. Os resultados, após 210.000 km rodados, indicaram redução das emissões de particulados (fumaça negra), redução de 40 a 70% do consumo de óleo diesel, porém um consumo de energia 20% superior, se comparado com a operação do veículo com o ciclo diesel tradicional. Posteriormente, já no início da década de 90, alguns testes foram feitos em veículos equipados com dispositivos eletrônicos para controle dos sistemas de alimentação de combustível e os resultados obtidos foram bem mais favoráveis. Foram obtidas economias de 65% a 85% de diesel, com desempenho semelhante ao veículo tradicional. No entanto, fatores políticos e econômicos, vinculados aos interesses da empresa e do país, conduziram à descontinuidade deste programa de desenvolvimento (PETROBRAS, 2000).

Em 1987, a Mercedes-Benz do Brasil desenvolveu o primeiro ônibus a gás natural no Brasil, com um motor ciclo Otto a GNV aspirado. Até 1992 foram vendidas 400 unidades deste motor. Novas pesquisas levaram ao desenvolvimento do M447hG, motor aspirado com combustão estequiométrica[1] e catalisador de três vias, e da primeira versão do motor M366LAG, com queima "pobre" no ciclo aberto com catalisador de oxidação. Ambos motores tinham emissões de cerca de 50% das emissões estabelecidas por EURO-II[2] (HOLLNAGEL , 1999).

Em 1999, a tecnologia do motor M366LAG foi melhorada com injeção eletrônica no ciclo fechado e turbo-cooler, obtendo um aumento de 50% na potência do motor com relação ao primeiro modelo de 1987, com potência máxima de 230 cv em 2.600 r.p.m. e consumo mínimo de 198 g/kWh e torque máximo de 720 N.m. O ônibus equipado com este motor apresentou uma autonomia entre 250-300 km (LUZ, 2001).

[1] Mistura estequiométrica – proporção exata de ar/combustível necessário para transformar completamente uma determinada quantidade de combustível em água e CO_2 (OSDE/IEA, 1999).

[2] Limites estabelecidos por EURO-II são: NOx 7,0 g/kWh; PM 0,15 g/kWh; CO 4,0 g/kWh; HC 1,1 g/kWh;

3.3.1 Experiência de utilização do gás natural nos ônibus do município de São Paulo

A experiência para utilização de gás metano como combustível no Município de São Paulo iniciou-se em 1983, com a celebração de Convênio de Cooperação Técnica entre CMTC, Mercedes-Benz do Brasil (MBB), Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT e SABESP, quando se definiu que 10 ônibus seriam adaptados para operarem com o sistema bi-combustível (gás-diesel).

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, quando por decisões políticas o programa foi desativado.

No período compreendido entre 1989 a 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 (gás-diesel), sendo testados os seguintes equipamentos:

- 02 motores ciclo *Otto* cedidos pela MBB;
- 02 motores modificados para ciclo Otto (Faculdade de São Carlos - SP);
- 02 motores bi-combustível utilizando sistema RODAGÁS;
- 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 de ciclo *Otto* foi o que apresentou melhor "performance" operacional. Os veículos eram abastecidos através de carretas-feixe que armazenavam o gás natural proveniente da bacia de Campos/RJ.

No biênio 1991/1992, para continuidade do programa, foram adquiridos 60 carros movidos a GNC, fornecidos pela MBB, equipados com motor aspirado (150 cv). Como 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 “ÔNIBUS A GÁS”, nos aspectos do material rolante, sistemas de distribuição, compressão e qualidade do gás para uso automotivo.

No período entre 1991 e 1993 o desempenho da frota de 1ª geração foi acompanhado pelos técnicos da CMTC, concluindo pelo 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 conjunto com Petrobrás e Mercedes-Benz algumas providências, a fim de dar soluções aos problemas identificados como relevantes na operacionalização deste programa, ficando definidas as seguintes atividades:

- Desenvolvimento de um novo óleo lubrificante;
- Especificação da composição do GNC;
- Descarbonização dos motores;
- Desenvolvimento de um novo “kit” para o sistema de alimentação;
- Instalação de filtros nas unidades compressoras para retenção de óleo.

Em 1995, com base nas avaliações e conclusões feitas acerca do desempenho dos motores, a Mercedes-Benz iniciou o desenvolvimento de um motor de 2ª geração, equipado com turbo compressor e pós resfriador, alcançando uma potência de 232 cv.

Tabela 4: Diferenças entre os motores 1ª e 2ª geração:

Descrição do motor	1ª geração M 366 G	2ª geração M 366 LAG
Alimentação	Aspirado	Turbo com pós resfriador
Potência	150 cv	232 cv
Torque Máximo	420 Nm	720 Nm
Ignição	Vela/Bobina/Distribuidor	Ignição eletrônica

Fonte: Elaboração própria.

3.3.1.1 Legislações

Em 24 de janeiro de 1991 foi promulgada a Lei municipal nº 10.950, determinando que as empresas concessionárias ou permissionárias de transporte coletivo no Município de SP, deveriam substituir os ônibus ou motores movidos a óleo diesel por outros movidos a GNC num prazo de 10 anos. Essa Lei não produziu o efeito necessário, pois não previa uma cadência de conversão, que os motores e equipamentos estavam em início de desenvolvimento, dificuldade na logística para distribuição do gás natural e falta de garantias na 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 cadência de conversão 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 Programa de Alteração de Combustível - 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 Gasosa, 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;

• Custo do veículo, combustível e lubrificante superiores aos equivalentes do diesel, e principalmente,

• Incompatibilidade dos prazos dos contratos das operadoras com a SPTrans, em relação aos prazos dos contratos das distribuidoras e agentes financeiros.

3.3.1.2 Panorama geral da frota movida a gás natural

No Município de São Paulo, estavam em operação 246 ônibus movidos a GNC, divididos conforme a geração dos motores instalados.

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

Tabela 5: Frota primeira geração (motores com 150 cv)

EMPRESA	QUANT. ÔNIBUS a GNC	Quilometragem	Consumo Combustível (m^3)	Desempenho km/m^3
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**	**3.982.952**	

Fonte: Elaboração própria.

Média Ponderada de Desempenho da Frota de 1ª Geração: 1,93 km/m^3, com um consumo de 0,517 m^3 /km, representando um consumo médio por cv de 0,0034 m^3/km.

Conforme estabelecido pelo Convênio de Cooperação Técnica e para cumprir a Lei que estabelecia acréscimo ou redução da percentagem de conversão ou substituição, o desempenho dessa frota era constantemente acompanhado, objetivando a realização de avaliações técnico-operacionais. No período compreendido entre agosto de 1997 e dezembro de 1998, a frota movida a gás de 2ª geração apresentou os seguintes indicadores:

Tabela 6: Frota segunda geração (motores com 232 cv)

EMPRESA	Quant. Veículos	Quilometragem	Consumo Combustível (m^3)	Desempenho km/m^3
CCTC	20	233.574	133.239,9	1,75
V. SANTA MADALENA	28	1.063.104	765.908,0	1,39
GATUSA	65	618.732	346.611,3	1,79
TOTAL	**113**	**1.915.410**	**1.245.759,2**	

Fonte: Elaboração própria.

Média Ponderada de Desempenho da Frota de 2ª Geração: 1,54 km/m^3, com um consumo do 0,650 m^3 /km, o que representa o consumo médio por cv de 0,0028 m^3/km.

Comparando os dados pode-se observar que o consumo de gás natural dos ônibus de segunda geração foi 25,7% maior que o dos ônibus de primeira geração, devido ao fato dos ônibus de segunda geração contarem com uma potência do motor 54,7% maior que os de primeira geração. Em termos gerais, os ônibus de segunda

geração tiveram um melhor consumo de GNC por CV – somente 82% do consumo por c.v que os de primeira geração - e devido a sua maior potência apresentaram um melhor desempenho no serviço.

3.3.1.3 Comparativo de custos entre ônibus a GNC e diesel.

Na Tabela 8 está apresentada uma comparação entre o preço público e o praticado, relativos aos veículos movidos a diesel e gás natural:

Tabela 7: Preço do veículo:

Modelo do veículo	Potência do motor (cv)	Preço (R$)					
		Praticado (FIPECAFI)			Público (Tabela)		
		Chassi	Carrroceria	Total	Chassi	Carrroceria	Total
MB OH 1621 (Diesel)	210	50.222,35	41.664,00	91.886,35	79.102,19	55.000,00	134.102,19
MB OH 1623 (gás)	232	79.800,28	45.000,00	124.800,28	105.823,02	85.915,00	191.738,02

Fonte: FARAH (2001)

O preço do veículo movido a gás apresenta as seguintes variações se comparado ao seu similar diesel: Preço Praticado = + 36 % - Preço Público = + 43 %**.** Ressaltando que o ônibus com motor Diesel utilizado para a comparação de preços, possui uma potência de 22 CV inferior ao veículo movido a gás. O custo comparado do combustível para os ônibus a GNC de 1^{a} e 2^{a} gerações, adaptado para os preços de 1998, está apresentado na Tabela 8.

Tabela 8: Custo do combustível (em 1998)

Combustível	Consumo	Preço do combustível (R$)	Custo (R$/km)	Diferença %
Diesel (L)	0,435 l/km	0,3737	0,1626	---
Gás (m^3) 1ª geração	0,517 m^3/km	0,3737	0,1932	+18,8
Gás (m^3) 2ª geração	0,650 m^3/km	0,374	0,2429	+49,4

Fonte: FARAH (2001)

Como os preços dos ônibus a gás são superiores entre 36% e 43% aos preços dos ônibus convencionais, e por ser o custo relativo por km do combustível gasoso 49,4% maior ao custo do combustível diesel, a experiência brasileira nestes anos apresentou resultados econômicos negativos e o desenvolvimento do uso de GNC nos ônibus no Brasil foi suspenso.

Atualmente, as condições econômicas são favoráveis para se retomar a avaliação do uso de GNC para os ônibus, por esta razão os dados apresentados serão utilizados no cálculo necessário à análise econômica correspondente à substituição do uso de combustível diesel por GNC no transporte público de passageiros, já que estes valores representam a experiência brasileira no uso do GNC em condições de tráfico real.

3.3.2 Experiência na conversão de um motor *Diesel* para o uso de GNC no ciclo gás-diesel na UNICAMP

Durante os anos de 2003-2004 foram realizados pelos pesquisadores do Laboratório de Hidrogênio da UNICAMP ensaios com um sistema piloto de gás-diesel. Este sistema-piloto foi utilizado para a conversão de um motor Diesel MB OM314 de um

veiculo Toyota Bandeirantes (1979) tipo OJ 55LP-B3, para a utilização de um combustível constituído por uma mistura gás-diesel.

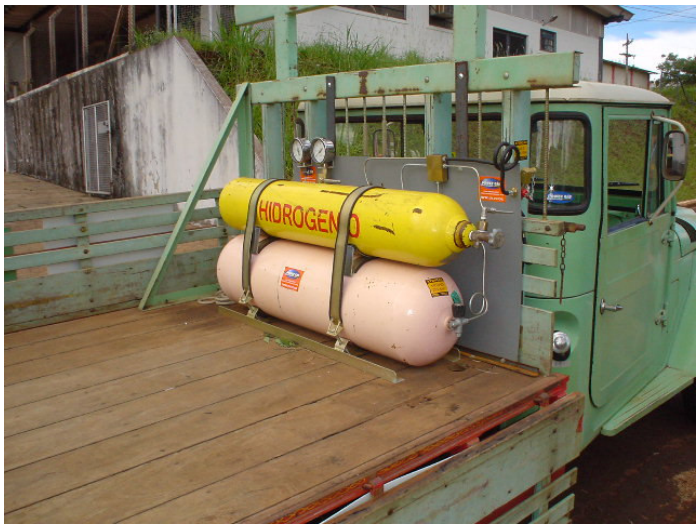

Figura 3.3 - Conversão veiculo para o uso de GNC no ciclo gás-diesel.

Os objetivos eram a comprovação da viabilidade técnica da conversão, medir a redução no consumo de combustível diesel e avaliar a diferença da temperatura de gases de escape do motor operando com o combustível original e com a mistura gás-diesel.

A metodologia adotada para os ensaios se resumia à escolha e demarcação de um percurso “ciclo da cidade” com distância igual a 10 km (demarcados a cada 500 m) que continha 27% de subidas, 28% de descidas e 45% de retas, com 14 lombadas e 5 semáforos, no percurso do qual foram obtidos os dados de consumo de combustível diesel, utilizando-se um reservatório de volume conhecido removível, cuja massa foi medida antes e depois do percurso, sendo posteriormente convertida para a unidade volumétrica.

Essas medições foram realizadas inicialmente para o motor Diesel com o seu combustível original e, posteriormente, equipado com sistema de combustível gás-

diesel. Esses dados foram comparados para se obter o resultado de economia de combustível diesel. A temperatura de gases de escape foi medida através de um termopar que foi instalado anteriormente no cano de escape do motor.

Os testes demonstraram a viabilidade técnica de se utilizar um veículo com motor *Diesel* alimentado com uma mistura gás-diesel. A conversão do motor para o uso de GNC no ciclo gás-diesel com o sistema-piloto desenvolvido permitiu que se economizasse 67% de diesel. Prevê-se ainda que esta economia possa ser aumentada através de melhorias no sistema.

Figura 3.4 - Ensaios e testes no percurso escolhido

A conversão realizada não eliminou a possibilidade de se utilizar o motor unicamente com o seu combustível original. Os valores medidos para a temperatura dos gases de escape ao longo do percurso escolhido permitiram uma análise comparativa destas grandezas para o motor funcionando com o combustível original e com a mistura gás-diesel, comparação que é apresentada na figura 3.5.

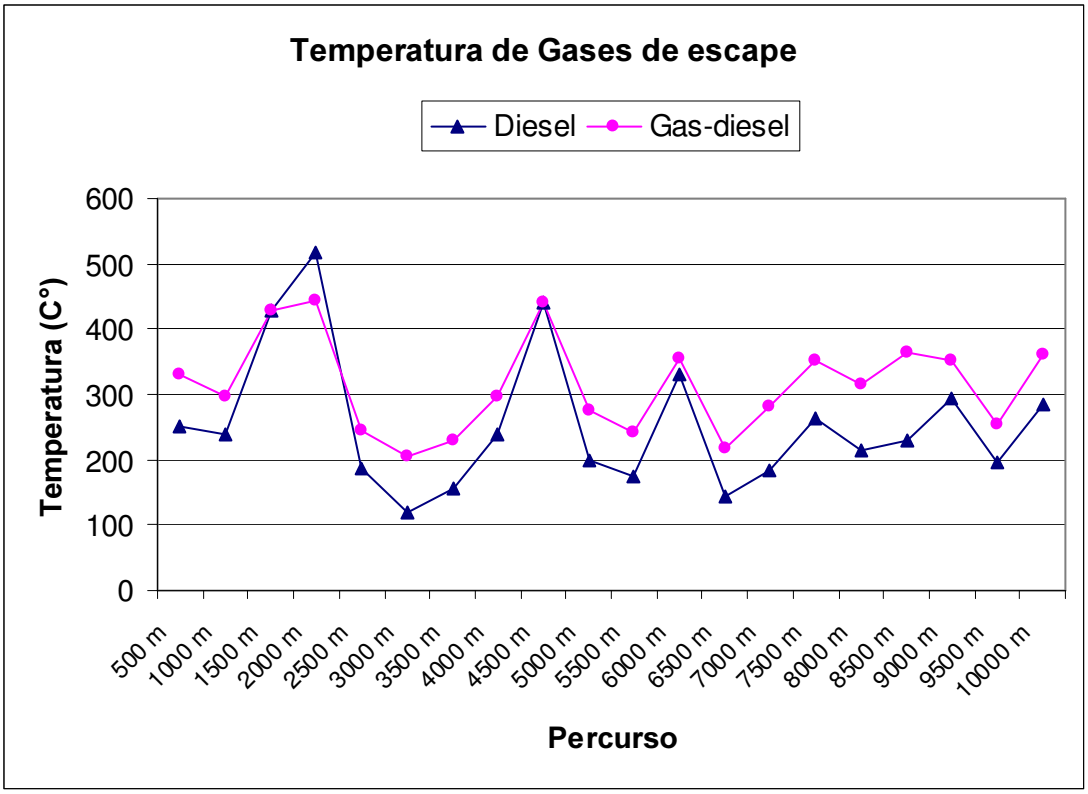

Figura 3.5 - Comparação da temperatura de Gases de escape.

A temperatura dos gases de escape do motor funcionando com a mistura gás-diesel foi 31% mais elevada que os mesmo quando da utilização do combustível original.

3.4 Comparação das emissões dos principais poluentes por motores diesel com o uso de combustíveis gasosos

Os padrões de emissão rigorosos para veículos pesados equipados com motor a diesel (caminhões, ônibus) não têm sido desenvolvidos tão rapidamente quanto para veículos leves movidos a gasolina. Como os motores diesel são apontados como uma fonte muito importante de emissões de NOx, fumaça, material particulado e ruídos, o

desenvolvimento de tecnologias de controles para caminhões e ônibus tiveram inicio mais pronto possível. Contudo, mais atenção tem sido dada ultimamente a estas categorias de veículos. A *Environment Protection Agency – US EPA* estabeleceu novos regulamentos para ônibus e caminhões leves e pesados em relação às emissões de NOx e particulados (OECD, 1988). Estes padrões enfatizam a necessidade de novas e eficientes tecnologias.

Deve ser mencionado que as emissões maior de poluentes nos veículos a diesel está concentrada no sistema de exaustão dos gases de combustão. O motor Diesel, por ser não volátil e possuir sistema fechado de injeção, contribui menos nas emissões evaporativas e do carter 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 (Braz, 1996). 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.

As emissões de motores diesel são:

a) Cheiro;
b) Fumaça (material particulado -MP);
c) Monóxido de Carbono (CO);
d) Hidrocarbonetos não queimados (HC);
e) Oxido Enxofre (SOx);
f) Óxido de Nitrogênio (NOx);
g) 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;

f) Condição do motor;

O GNC 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 dos poluentes como CO, NO_x 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. O GNC implica em mais baixas emissões de CO, em emissões inofensivas de HC, e a emissão de NO_x é inalterada ou mais baixa e emissões mais altas de formaldeído quando comparado à gasolina. Os dados de conteúdo de gases de escape de ônibus equipados com sistema gás-diesel obtidos por Instituto de Investigação dos Motores e Automóveis (NAMI) mostram seguintes proporções CO-4,9 g/kWh, CH-1,1 g/kWh, NO_x-8 g/kWh, PM – 0,36 g/kWh (LAVRUS, 1997).

Segundo a experiência da antiga URSS no uso massivo de GNC como combustível, além de apresentar vantagens econômicas em relação ao preço do combustível, a utilização do gás natural como combustível aumenta a vida útil do motor, reduzindo os custos de manutenção e o consumo de óleo lubrificante.

Nos Estados Unidos, segundo o 5° 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. Versões posteriores deste motor foram certificadas pelo *Califórnia Air Resources Board*.

Vários motores Cummins L10G usados em ônibus foram testados em 1994. Foi realizada uma análise comparativa entre os motores movidos a GNC (consumo médio de 0,654 m^3/km), e outros movidos a diesel (consumo médio de 0,503 l/km).

Foram coletados dados referentes às emissões de gases (MP, HC, CO, NOx) para os dois tipos de motores. Para os ônibus movidos a GNC foram tomadas as

amostras sobre total de 23 ônibus; no entanto, para os ônibus funcionando com motores diesel as amostras foram recolhidas sobre um total de 16 veículos.

Através de uma análise estatística (WONNACOT,1990) dos dados coletados (Anexo I) foi realizada a comparação do impacto ambiental produzido por veículos de transporte coletivo de passageiros, funcionando com motores diesel e GNC, com respeito á emissão de gases tóxicos. Os cálculos os parâmetros que caracterizam as medições foram feitos usando o software **Excel** para estatística. Caracterização de base de dados para cada um dos quatro gases emitidos segundo o tipo de motor, diesel ou GNC, estão expostas no Anexo II. Baseados nestes dados é possível fazer cálculos relativos à emissão de gases tóxicos por ônibus funcionando com o sistema de gás-diesel, que usa uma mistura composta de 15% de combustível diesel e de GNC, que substitui 85% de diesel. Como o consumo do combustível diesel é de 0,503 l/km (C_D), calculou-se o consumo do combustível diesel (C_{Dmix}) na mistura gás-diesel (C_{mix}) para a mistura:

$$C_{Dmix}= C_D* 0,15 = 0,503*0,15= 0, 075 \text{ (l/km)} \quad [1]$$

O consumo do GNC na mistura (C_{GNCmix}) é calculado considerando-se que 1 l de combustível diesel equivale a 1,11 m^3 de GNC:

$$C_{GNCmix}= C_D*0,85*1,11= 0,503*0,85*1,11= 0,475 \text{ } (m^3/km) \quad [2]$$

Este consumo (C_{GNCmix}) representa 72,6% do consumo de gás no motor Cummins L10G GNC.

Na Tabela 9 se apresentam os dados correspondentes às emissões de gases dos ônibus por tipo de motor:

Tabela 9: Emissões de gases de escape por tipo de motor

	MP (g/km)	*NOx (g/km)*	*HC (g/km)*	*CO (g/km)*
Diesel	1,15	14,60	1,35	10,32
GNC	0,01	10,13	8,25	1,65
Gás-diesel	0,18	9,54	6,20	2,75

Fonte: Elaboração própria

Os dados desta Tabela permitem fazer um gráfico representativo:

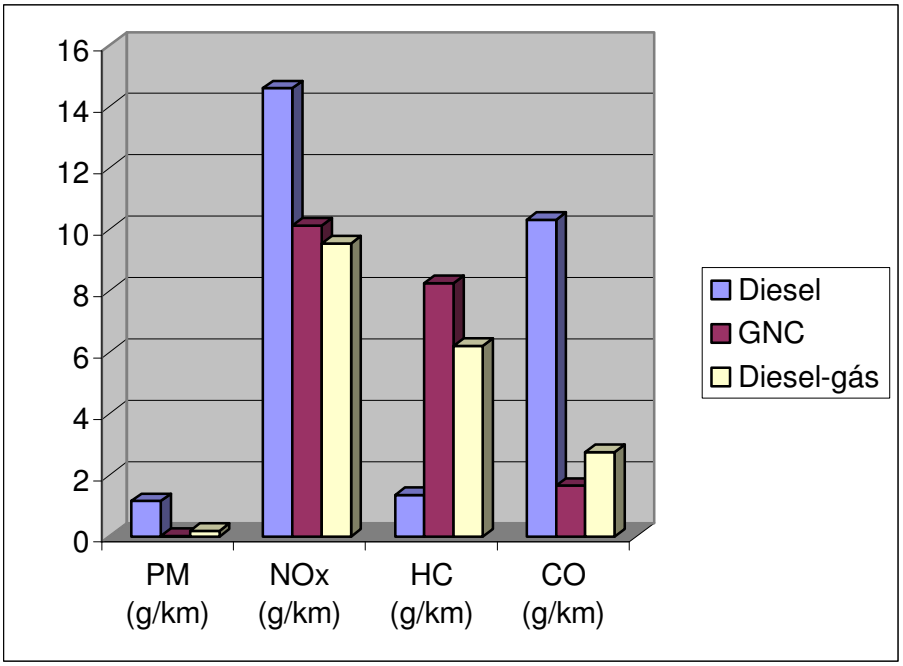

Figura 3.6 - Emissões de gases do ônibus por tipo de motor

Fonte: Elaboração própria.

3.4.1 Impactos ambientais e conclusões

Usando as amostras dos diferentes gases, emitidos pelos veículos equipados com motores diesel e os outros funcionando com GNC, foi definida uma função que mede o que foi chamado de impacto ambiental. Esta função é uma combinação linear dos quatro tipos de gases emitidos:

$$I = a*MP + b*NOx + c*HC + d*CO, \qquad [3]$$

Onde os valores de *a,b,c,* e *d* correspondem aos pesos dos respectivos gases segundo o nível de agressão (toxicidade) que representam para a natureza (SANTOS, 2001):

$$a = 0{,}47\ ,\ b = 0{,}18\ ,\ c = 0{,}10\ ,\ d = 0{,}25.$$

Os valores desta função foram calculados para os dois tipos de combustíveis e os dados obtidos foram analisados e comparados seguindo o mesmo padrão que para os gases individualmente. Ou seja, calcularam se as medidas de posição e dispersão para este novo conjunto de dados (Anexo III)

Também foi preciso testar a hipótese de que as medias eram diferentes (ou seja, rejeitar a hipótese de nulidade – isto é confirmado pelo teste de hipóteses exposto no Anexo IV).

O resultado dos cálculos foi que a Média de impacto ambiental para GNC é 4,94 e a Media para Diesel é 9,47. O impacto ambiental da mistura gás-diesel, que é uma suma de 15% de impacto ambiental do combustível diesel e 72,6% de impacto do GNC, é de 5,01.

Assim, é possível concluir que em média os ônibus funcionando com GNC apresentam um impacto ambiental menor que dos ônibus de Gás-diesel e aproximadamente duas vezes menor do que aqueles funcionando com motores diesel.

Logo, baseados na base de dados disponíveis e usando as ferramentas da estatística, foi possível testar a hipótese de que o GNC é um combustível menos agressivo para o meio ambiente do que o diesel, sendo a mesma aceita com um nível de significância do 5%.

3.5 Desenvolvimento do transporte sustentável

A redução da demanda de recursos naturais é a maior contribuição que pode dar rumo ao desenvolvimento sustentável. Neste sentido, a promoção de sistemas de transportes baseados na redução do uso de combustíveis fósseis, permite manter esta atividade principal de crescimento econômico em forma sustentável.

Atualmente os cientistas estão trabalhando em várias e diferentes alternativas de desenvolvimento do transporte sustentável, como biodiesel, motores etano-elétricos, sistemas de turbina-baterias-motores elétricos e células a combustível. O que estes trabalhos têm em comum é a intenção de livrar-se do uso de combustíveis fósseis não renováveis. Então, o que pode substituí-los? A resposta a esta pergunta é conhecida há mais de 50 anos. O combustível ideal é o hidrogênio:

- Possui um alto conteúdo energético (141MJ/kg), que supera 3 vezes o da gasolina, GNC e GLP;
- O produto da combustão é o vapor de água;
- Existem recursos inesgotáveis e renováveis para a obtenção de hidrogênio.

Porém, existem também algumas desvantagens para o uso de hidrogênio como combustível, que são as seguintes:

- O hidrogênio é mais suscetível à explosão do que GNC;
- A densidade energética global por peso é 10 vezes menor que a da gasolina.

O caminho ao uso de hidrogênio como combustível é muito difícil e consta de muitas etapas, porém, sem dúvida nenhuma, possui enormes vantagens ecológicas e tem justificação econômica.

3.5.1 A utilização de hidrogênio como combustível para ônibus urbanos

A economia do hidrogênio tem ainda um longo caminho para se desenvolver até fazer frente à já consolidada economia do petróleo. A obtenção do hidrogênio é um dos grandes desafios dessa nova economia, uma vez que ele é um vetor energético, assim como a energia elétrica, e não se encontra disponível na natureza em quantidades significativas na forma gasosa. É necessário primeiramente retirá-lo dos compostos onde se encontra quer sejam recursos fósseis ou renováveis.

Tendo em vista o setor de transportes, dois combustíveis são fontes promissoras de hidrogênio: o gás natural e o etanol. O gás natural, que é um combustível fóssil, e portanto, não renovável, apresenta uma demanda crescente no mundo devido às suas vantagens, técnicas e ambientais, sobre os demais combustíveis fósseis. O etanol é um combustível renovável, cujo maior produtor mundial é o Brasil, onde já se dispõe de tecnologia e de um sistema de distribuição consolidado. Do ponto de vista ambiental, as vantagens deste combustível são inegáveis, o que o torna especialmente atraente para o setor de transporte.

O aquecimento global, a diminuição da disponibilidade de combustíveis derivados de petróleo e o aumento da demanda por energia obrigam a sociedade a pensar no uso de combustíveis alternativos, entre eles o hidrogênio. Utilizar o hidrogênio traz desafios, especialmente para uso veicular, porém também traz perspectivas interessantes: redução substancial de contaminantes e a oportunidade de ampliar o espectro de combustíveis alternativos. Analisando-se o futuro do hidrogênio, observa-se que a célula a combustível é a forma mais efetiva para a o seu emprego em grande número de veículos, porém também se observa que o seu alto custo e baixa durabilidade significam que não se pode esperar grandes quantidades dessa aplicação durante os próximos anos. Uma pergunta surge imediatamente: o que poderá se fazer nesse meio tempo?

Já existe uma resposta elaborada em conjunto pela Agência de Transporte SunLine da California - USA e Cummins Westport Inc., que o uso de uma mistura de hidrogênio e metano, que tem sido testada em ensaios de teste de bancada e na operação de ônibus. O nome em inglês dessa mistura é *"HCNG"* e questão a resolver era encontrar a relação ótima entre o hidrogênio e o metano, para conseguir:

- Manter o mesmo desempenho de um motor a GNC
- Obter a máxima redução de NOx operando o mais próximo possível do limite de mistura pobre
- Calcular o benefício total na redução de emissões

Durante de testes com HCNG, os resultados obtidos foram:

A relação ótima foi de 20% de hidrogênio e 80% de metano. Nessa mistura a participação do hidrogênio era de 3% da massa de combustível e de 7% da energia contida no mesmo, o que permite aumentar a relação ar-combustível com uma significativa redução de NOx.

Um ônibus operando com um motor com este combustível produziria em 1 ano 65% menos de NOx, 80% menos de particulados e aproximadamente 10 t./ano a

menos de gases de efeito estufa (GHG), do que um ônibus operando com um motor Diesel certificado segundo as normas EPA 2002

O uso do HCNG conseqüentemente será um passo importante para o uso do hidrogênio como combustível alternativo. A comparação das emissões e consumo entre HCNG e GNC em ônibus a GNC esta apresentada na Figura 3.7.

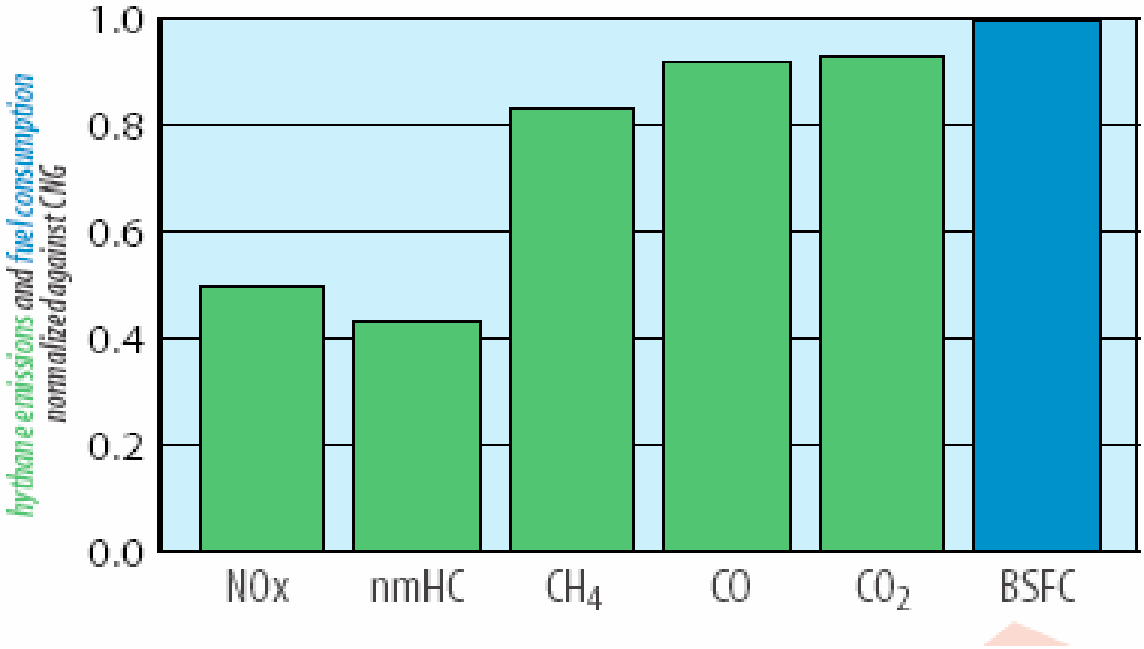

Figura 3.7 - Comparação de emissões e consumo entre HCNG e GNC
Fonte: Westport (2004)

Logo, é prematuro pensar na substituição de todos os motores dos automóveis existentes por motores a hidrogênio, porém se pode usar até 10% de hidrogênio nos veículos praticamente sem alterações estruturais no motor, considerando isto como segunda etapa no uso de combustível alternativo, onde a primeira etapa é o uso de GNC ou GLP.

Existem várias formas de armazenamento de hidrogênio no automóvel, que são:

- Em cilindros de alumínio de 55 MPa (550 atm)
- Hidrogênio líquido (-252^0 C)
- Hidreto metálico (FeTi)

- Sistema H-Power (água e ferro)

Todos estes métodos têm um custo muito alto e supõem uma recarga de hidrogênio, porém existem tecnologias de geração de hidrogênio diretamente a bordo do veículo através de reatores tipo Hot-Spot, que usam metanol (CH_3OH) como meio de armazenamento de hidrogênio. (RENEWABLE ENERGY WORLD, 1999)

Para o caso brasileiro, a melhor alternativa seria usar nesta tecnologia o álcool etílico (C_2H_5OH), dado que este é um recurso renovável, disponível e já conta com uma infra-estrutura de produção e distribuição.

Governos de países de todo o mundo se empenham no desenvolvimento de tecnologias mais limpas que se apresentem como alternativas aos atuais combustíveis fósseis. Uma das configurações alternativas consideradas propõe a substituição dos motores a explosão atuais por motores elétricos, gerando a energia elétrica no próprio veículo através da utilização de células à combustível que consomem hidrogênio e emitem apenas vapor de água.

Projetos pilotos que visam comprovar a viabilidade da utilização de ônibus movidos a hidrogênio estão sendo implementados atualmente em diversas localidades, principalmente na Europa, ao mesmo tempo em que empresas do ramo automotivo se empenham no desenvolvimento dos veículos.

No futuro, pode-se vislumbrar a era da economia do hidrogênio, que está sendo considerado o “combustível do futuro” por muitos especialistas, alicerçada principalmente no avanço tecnológico das células a combustível. Esses dispositivos eletroquímicos convertem a energia química do hidrogênio diretamente em eletricidade com eficiências superiores às das máquinas térmicas. Dessa forma, constituem uma opção muito atraente como fontes de força motriz para o setor de transporte.

Projetos para o desenvolvimento e demonstração de ônibus com células a combustível existem desde 1993 (USDOE, 2004). A liberdade para implementação de

sistemas que não têm o volume como fator limitante levou à implementação de veículos que funcionaram baseados em outros tipos de células a combustível, como as PAFC ("*Phosphoric Acid Fuel Cell*"), que nesta época ainda aguardavam por expressiva queda de custos, a que, não ocorreu. Os veículos implementados sobre esta tecnologia eram abastecidos por metanol e possuíam um sistema embarcado de reforma deste combustível primário para a produção de hidrogênio (Fuel Cell, 2004).

Paralelamente a este desenvolvimento ocorreu o desenvolvimento dos ônibus fundamentados na tecnologia PEMFC ("*Proton Exchange Membrane Fuel Cell*"), tecnologia que se mostrou mais adequada à aplicação veicular devido à sua baixa temperatura de operação, usualmente entre 60º e 90ºC, o que leva a curtos tempos necessários para partida do veículo. Estes veículos foram também implementados com o armazenamento direto de hidrogênio, líquido ou gasoso pressurizado, o que levou ainda à uma simplificação do veículo por conta do sistema de processamento do combustível primário.

Um veículo com célula a combustível é geralmente composto por um sistema de armazenamento de hidrogênio direto ou algum combustível primário, conforme já discutido. Deste componente deve ser fornecido hidrogênio para as células a combustível, que poderão estar interligadas a outros sistemas de fornecimento de energia elétrica.

Para a configuração "pura", a célula a combustível é o único componente responsável pela geração de energia elétrica responsável pela tração do veículo e está acoplada ao componente eletrônico que condiciona os parâmetros elétricos e atua sobre o motor elétrico. Este motor poderá ser acionado por corrente contínua (DC) , ou por corrente alternada (AC), controlados por conversores eletrônicos.

Na configuração híbrida, a célula a combustível está posicionada paralelamente a um banco de baterias e/ou ultra-capacitores, utilizado na fornecimento de energia elétrica durante períodos de picos de potência, funcionando desta forma como reservatórios, ou *buffers*, de energia.

A Tabela 10 compila alguns dos projetos de desenvolvimento de ônibus elétricos com células de combustível.

Tabela 10: Alguns projetos de demonstração da tecnologia de ônibus elétricos com células a combustível (CaC) (Fuel Cell, 2004)

Fabricante (Fab. CaC)	*Sistema de Propulsão*	*Ano*	*Tipo*	*Autonomia*	*Velocidade Máxima*	*Combustível*
New Flier Industries Ltd. (Ballard)	Híbrido CaC (90 kW - PEMFC) e baterias	1993	12 m	400 km	95 $km.h^{-1}$	Hidrogênio pressurizado
Bus Manufact. USA, Inc. (Fuji Electric)	Híbrido CaC (50 kW - PAFC) e baterias	1995	9 m	402 km	90 $km.h^{-1}$	Metanol
Macchi-Ansaldo – EC Project (Nuvera)	Híbrido CaC (45 kW - PEMFC) e baterias	1997	9 m	400 km	Não disponível	600 l de hidrogênio líquido
Neoplan (Nuvera)	Híbrido CaC (40 kW - PEMFC) e baterias	1999	7 m	600 km	50 $km.h^{-1}$	Hidrogênio pressurizado
MAN (Siemens)	*CaC (120 kW - PEMFC) e baterias	2000	12 m	250 km	80 $km.h^{-1}$	Hidrogênio pressurizado
Thor Industries – Thunderpower LLC (UTC)	Híbrido CaC (60 kW - PEMFC) e baterias	2001	9 m	322 km	90 $km.h^{-1}$	Hidrogênio pressurizado
Hino Motors Ltd. – Subsidiária da Toyota (Toyota)	*CaC (180 kW - PEMFC) e baterias	2002	9 m	300 km	80 $km.h^{-1}$	Hidrogênio pressurizado
Daimler Chrysler Company (Ballard)	*CaC (205 kW - PEMFC) e baterias	2003	12 m	200 km	80 $km.h^{-1}$	Hidrogênio pressurizado (340 bar)

*A presença de baterias nestes veículos não implica uma topologia híbrida. Estes dispositivos são apenas utilizados para suavização da variação de carga frente à célula a combustível, uma vez que respondem melhor a esta variação. Maior detalhamento será dado posteriormente, em momento oportuno.
Fonte: Fuel Cell, 2004.

De acordo com as implementações já experimentadas, a potência do sistema de célula a combustível pode estar entre 12 e 80% abaixo do valor utilizado para a implementação de um ônibus no formato “puro”, comparação que leva em consideração o desempenho reportado para os veículos situados nas situações limítrofes do intervalo de variação.

A disposição usual dos componentes em um sistema elétrico híbrido é feito conforme ilustra a Figura 3.8.

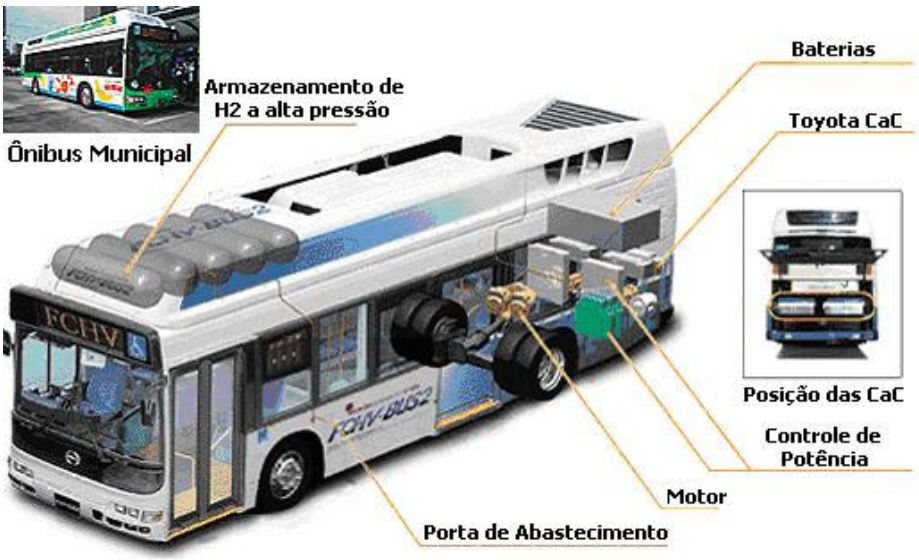

Figura 3.8 - FCHV-BUS2 (“Fuel Cell Hybrid Vehicle”) desenvolvido pela Toyota: Distribuição dos componentes num sistema veicular híbrido
Fonte: TOYOTA (2004)

O desenvolvimento e a implementação de células a combustível em veículos, implica na elaboração de importantes políticas e ações governamentais para fomentar e ampliar o aproveitamento dos combustíveis fósseis, bem como na implementação de energias renováveis, de forma a garantir a sustentabilidade do processo de desenvolvimento.

Neste contexto, a participação de governos, quer seja através da implementação de políticas, quer seja através de sustentação financeira, é de fundamental importância para alavancar projetos em tecnologias de célula a combustível em veículos, bem como em pesquisas para processamento do hidrogênio.

Como atualmente a tecnologia de ônibus funcionando com células a combustível é muito cara, o preço da unidade varia entre 1,3–1,7 milhões de US$ (Fuel Cell Bus Club, 2004), neste trabalho não se vai considerado a substituição da frota de ônibus existente por uma outra com esta tecnologia.

Capítulo 4 Metodologia

4.1 Descrição

Neste trabalho é realizada a análise econômica da transformação da frota de ônibus para o uso de gás natural veicular através de dois caminhos: através de ônibus com motor a gás ciclo Otto e através de ônibus com motor diesel adaptado ao uso da mistura gás-diesel.

A metodologia de análise desenvolvida neste trabalho considera as seguintes etapas:

1) Levantamento dos dados disponíveis sobre a frota de ônibus urbanos da cidade de Campinas

2) Aplicação de duas alternativas de substituição da frota de ônibus:

- ônibus a GNC,
- ônibus com motor diesel adaptado ao uso da mistura gás-diesel.

3) Fundamentado nessas duas alternativas se construiu três cenários de substituição da frota de ônibus:

- Cenário Um: troca de toda a frota de ônibus urbanos da cidade Campinas por ônibus a GNC
- Cenário Dois: substituição dos ônibus retirados de circulação por ônibus GNC de acordo com o plano de renovação da frota.
- Cenário Três: modificação dos ônibus de toda a frota para ao uso da mistura diesel–gás

4) Expandir os resultados para um modelo de operação de frota de ônibus para 8 anos, onde se estima a redução do consumo de óleo diesel e avaliar os Cenários usando o Método do Benefício Líquido Anual Uniforme.

5) Comparação dos resultados obtidos do ponto de vista do interesse dos operadores envolvidos no sistema de transporte de Campinas, ou seja, das empresas de transporte coletivo e da sociedade.

As etapas 1 a 4 são tratadas no Capítulo 5, sendo a etapa 5 no Capítulo 6.

4.2 Determinação dos custos

Tem-se agora que determinar os custos que serão analisados neste trabalho. Não serão avaliados os custos globais, vinculados com a substituição do combustível diesel por GNC, que são:

- custos da infra-estrutura de GNC
- custos de desenvolvimento dos veículos
- custos de transição da matriz energética do transporte para o sociedade.

Estes custos estão fora do enfoque deste estudo. Custos que serão avaliados no trabalho são:

- custo do combustível
- custos de distribuição
- preço dos ônibus
- custos de manutenção e operação
- custos externos.

Os quatro primeiros itens pertencem às empresas de transporte coletivo e o último de interesse da sociedade.

Antes de se analisar as alternativas de substituição da frota de ônibus é necessário se fazer breves observações sobre cada tipo de custos.

Custo do combustível:

Dado que não é possível prever as mudanças nos preços dos combustíveis a longo dos próximos 10 anos, aceitou-se que os cálculos comparativos serão feitos com base nos preços atuais. O preço do diesel para as empresas de ônibus urbanos que compram na qualidade de "grande consumidor" é R$ 1,5616 por litro (cotação da Petrobrás para o EMDEC em 28/12/2004), e gás natural - 55% do valor do óleo diesel, ou seja, R$ 0,78 por m^3. Segundo a Petrobrás, um metro cúbico de gás corresponde a 0,923 litros de combustível diesel (ver Anexo V), ou seja, 1 litro de combustível diesel corresponde a 1,083 m^3 de GNC.

A taxa de câmbio para dezembro de 2004 é US$ 1 = R$ 2,69.

Os dados recebidos da EMDEC indicaram que a distância média percorrida por dia por um ônibus em 2003 foi de 400km/dia, (91.271 km/ano), sendo o que consumo de combustível diesel foi em média 0,438 de l/km.

Custos de distribuição:

No caso do óleo diesel estes já estão embutidos no preço, não sendo levados em consideração. No caso de GNC, também estão incluídos no preço, mas se prevê um investimento na construção do posto de cerca de R$ 900.000. Este investimento será feito por parte da iniciativa privada, então neste trabalho não são considerandos estes custos para a análise.

Preço dos Ônibus

Conforme notas fiscais encaminhadas no final de 2004 pelas empresas de ônibus urbanos à EMDEC, os preços atuais são:

Tabela 11: Preços do ônibus com motor diesel

Tipo do ônibus	Chassi (R$)	Carroceria (R$)	Total (R$)
MB OF-1418/52	92.646,00	69.000,00	161.646,00
MB OF-1721/59	84.500,00	66.000,00	150.500,00
MB OF-1722M/59	89.800,00	66.000,00	155.800,00

Fonte: Elaboração própria.

O preço médio de um ônibus com motor diesel é igual a R$ 155.982,00. Para os cálculos será adotado o preço de R$ 156.000,00.

O preço de um ônibus equipado com GNC (motor ciclo Otto Mercedes-Benz M366hLAG) em 2001 estava ao redor de R$ 150.000,00, ou seja, supera em R$ 50.000,00 o preço de um ônibus convencional que tem diesel similar (motor OM366LAG de MB). (MARQUES NETO, 2001). Da Tabela 7, observa-se que o ônibus movido a GNC apresentaba no ano 2001 um preço 36 % maior que o do seu similar a motor Diesel. Então, com base no preço médio atual de um ônibus com motor diesel, calculou-se o preço de um ônibus a GNC como sendo R$ 212.160,00.

Pode-se prever que com o tempo o preço dos ônibus a GNC vai diminuir, mas é muito difícil determinar o valor esta diminuição. Por esta razão, para os cálculos será adotada a hipótese de congelamento dos preços no nível atual.

No caso de ônibus com motor diesel adaptado ao uso da mistura gás-diesel, aceitou-se sem mudanças os preços atuais da adaptação de R$ 10.000,00 por ônibus (ver Anexo V).

Custos de manutenção e operação

As experiências existentes são contraditórias. Enquanto alguns operadores do transporte público dos EUA e Europa mostram o aumento destes custos entre 15%-20% para os ônibus a GNC, outros estudos nestes mesmos países mostram uma redução marginal destes custos. A experiência da URSS no uso de veículos a GNC na forma massiva representou uma redução nos custos operacionais e de manutenção de cerca de 8%-11%. Estas contradições devem ser estudadas mais detalhadamente para serem tomadas como referências. Desta forma, neste trabalho não serão considerados estes custos para a análise, assumindo a hipótese de que estes custos são iguais para todo tipo de ônibus.

Custos externos

Estes custos correspondem aos impactos ambientais produzidos pelos gases de escape, que são compostos pelos poluentes atmosféricos locais (monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio, hidrocarbonetos voláteis exceto metano – HCNM e material particulado), regionais (principalmente óxidos de enxofre) e também gases de efeitos globais (dióxido de carbono).

Estes custos são de interesse da sociedade e serão calculados em uma seção à parte para os três cenários.

A Tabela 12 apresenta o conjunto de fatores de emissão empregados nos cenários:

Tabela 12: Fatores de emissão.

	Poluentes atmosféricos (g/km)						
Tipo de ônibus	NO_x	CH_4	HCNM	CO	N_2O	MP	SO_x
Ônibus Diesel (g/kWh)	8,000	0,600	0,500	4,500	0,025	0,100	1,130
Ônibus GNC (g/kWh)	3,500	1,900	0,400	2,000	0,001	0,01	-
Ônibus Gás-diesel (g/kWh)*	3,740	0,741	0,365	2,130	0,004	0,022	0,170

*calculado por autor

Fonte: RIBEIRO 2001

Com relação ao potencial de redução de emissão de CO_2, em função do desempenho energético dos motores diesel, que são substituídos por ciclo Otto a GNC, a redução é pouco significativa, podendo ser inferior a 5%. Considerado o fator de emissão de CO_2 a partir da queima de óleo diesel igual a 3.188 g/kg e massa específica de 0,83 kg/l e o valor de US$ 10,00 para a tonelada de CO_2 evitada, pode-se calcular valor evitado de emissão (RIBEIRO, 2001).

4.3 O uso do Método do Benefício Líquido Anual Uniforme para comparação entre as alternativas de investimento

Inúmeros são os métodos utilizados para se avaliar projetos de investimento, variando desde a pura intuição do empresário aos mais sofisticados modelos matemáticos desenvolvidos até os presentes dias.

Todavia, nem todas estas técnicas são fundamentadas em bases conceitualmente corretas, e, naturalmente, as orientações decorrentes da abordagem de um dado problema através da aplicação de algumas deles podem confundir o responsável pela decisão, induzindo-o a erros danosos, cujas conseqüências podem apresentar-se extremamente graves em certas situações.

Despontam, contudo, neste conjunto de instrumentos decisoriais, três métodos para avaliação de investimentos, pertinentes à Engenharia Econômica, cujo rigor conceitual redunda em sólidas orientações e, naturalmente, coerente entre si, quando adequadamente utilizados. Estas técnicas são usulamente conhecidas como *método do valor presente líquido, método do benefício líquido anual uniforme* e *método da taxa interna de retorno.*

Para o presente trabalho, para a comparação entre as alternativas de investimento, escolheu-se o Método do Benefício Líquido Anual Uniforme, que segundo Oliveira (1982) é o mais indicado para o tipo de análise que desejamos desenvolver neste trabalho.

Este método caracteriza-se pela transformação de todos os fluxos de caixa do cenário considerado numa série uniforme de pagamentos equivalentes, indicando desta forma o valor do benefício líquido, por período, oferecido pela alternativa de investimento. A dimensão do período considerado possui magnitude anual.

A expressão matemática do benefício líquido anual uniforme para um diagrama de fluxos de caixa, correspondente a um Cenário, está representada pela seguinte fórmula:

$$U = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \times \sum_{j=0}^{n} \frac{X_j}{(1+i)^j} \qquad [4]$$

onde,

X_j –recebimentos e desembolsos,

i – taxa mínima de atratividade, que para este trabalho considero-se de 15%.

$\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$ - fator de recuperação do capital de uma série uniforme de pagamentos, sendo representado por (P/U,i,n), obtendo-se através do cálculo um valor de 0,223,

$\frac{1}{(1+i)^n}$ - fator de valor atual de um pagamento simples e representado por (M/P, i ,n), onde M é o montante, obtendo-se através do calculo um valor de 0,327,

$\sum_{j=0}^{n} \frac{X_j}{(1+i)^j}$ - valor presente líquido, sendo representado por *P.*

Assim, um cenário somente será atrativo se apresentar um benefício líquido anual uniforme positivo, sendo que aquele que apresentar o maior valor é considerado o mais interessante.

Capítulo 5 Estudo de caso

Campinas é o pólo natural de origem e destino da maior parte dos deslocamentos realizados diariamente na Região Metropolitana de Campinas, o que mais cresce no País. O PIB dessa região é de US$ 25 bilhões.

Os deslocamentos em Campinas desenvolveram-se através de um sistema viário de fortes características radio-concêntricas, privilegiando-se a articulação de diversas regiões com a área central do município. Na Tabela 13 estão apresentadas as principais características da cidade de Campinas.

Tabela 13 : Principais características do cidade de Campinas.

	Campinas
Área	798,6 km^2
População	995.024
Taxa crescimento da população (média anual 1991-2000)	1,52%
Frota de automóveis	354.609
Taxa crescimento da frota de automóveis	2,19%
Frota de ônibus patrimonial	815
Numero de linhas	203
Passageiros transportados (média mensal)	9.781.760

Fonte: EMDEC (2004)

As informações relativas ao tamanho da frota de ônibus, idade média, evolução da quilometragem anual percorrida, são originárias da Empresa Municipal de Desenvolvimento de Campinas (EMDEC, 2004).

Os aumentos da quilometragem anual percorrida para os anos de 2005 e 2006 foram obtidos por regressão linear, a partir das taxas de crescimento observadas de 2000 a 2004. Para os anos posteriores o aumento da quilometragem anual percorrida foi considerada nula, dado que o Sistema Estrutural de Transportes de Campinas, que se baseia no Plano de Desenvolvimento Urbano e Rural do Município, não prevê este aumento para as linhas de ônibus urbanos (EMDEC, 2004). A expansão da frota de ônibus a partir do ano 2005 foi considerada nula.

Tabela 14: Evolução da quilometragem anual percorrida e frota de ônibus do transporte urbano de passageiros na cidade de Campinas

Ano	km (em mil)	Frota de ônibus	Ano	km (em mil) Estimado	Frota de ônibus
2000	60.669	667	2007	70.375	815
2001	62.405	704	2008	70.375	815
2002	66.534	754	2009	70.375	815
2003	68.636	752	2010	70.375	815
2004	66.593	815	2011	70.375	815
2005	68.458	815	2012	70.375	815
2006	70.375	815	2013	70.375	815

Fonte: EMDEC, 2004

O consumo do combustível diesel pelos ônibus urbanos e os custos de combustível diesel, considerando o preço R$ 1,5616 por litro, foi calculado com base nas informações da tabela 14, com projeção para os próximos 10 anos, como apresentados na Tabela 15:

Tabela 15: Consumo de combustível diesel e custos

Ano	Consumo C_D $[10^3 l]$	Custos (em mil R$)	Ano	Consumo C_D $[10^3 l]$	Custos $[10^3$ R$]
2005	29.985	46.824	2010	30.824	48.135
2006	30.824	48.135	1011	30.824	48.135
2007	30.824	48.135	2012	30.824	48.135
2008	30.824	48.135	2013	30.824	48.135
2009	30.824	48.135			

5.1 Identificação de cenários

A avaliação do custo/benefício de transformação da frota de ônibus para o uso de gás natural veicular e do potencial de redução das emissões de poluentes atmosféricos, relativo ao uso do gás natural na frota de ônibus, foi realizada a partir de projeções que utilizaram um conjunto de cenários. Avaliou-se a expansão, no período de 2006 a 2013, do uso de GNC na frota de ônibus do município do Campinas. Este período foi escolhido devido à vida útil dos ônibus urbanos serem de 8 anos. Para os cálculos foi considerado que a idade média dos ônibus a partir do ano de 2006 será de 4,45 anos, exceto para o Cenário 1, donde se prevê a troca de toda a frota para ônibus a GNC sem período de transição.

Foram traçados quatro cenários que contemplaram as principais formas possíveis de transformação da frota de ônibus para o uso de gás natural veicular e que serão descritos a seguir.

5.2 Análise do custo/benefício de transformação da frota de ônibus para o uso de gás natural veicular – motor a gás ciclo *Otto*

5.2.1 Cenário 1 – Ideal

Neste cenário se analisa a hipótese da transformação da frota de ônibus para o uso de gás natural veicular – motor a gás ciclo *Otto*, que será feita de forma radical, ou seja, toda a frota será trocada por ônibus a GNC, sem período de transição.

Custo do combustível para o Cenário 1 – Ideal:

Pelos dados obtidos da Tabela 15 pode-se fazer os cálculos do consumo de GNC e o custo deste combustível gasoso para a frota de ônibus de Campinas para os anos de 2006 a 2013 (correspondente a oito anos, que representa a vida útil de um ônibus), considerando-se a hipótese de que toda a frota será trocada por ônibus a GNC, sem período de transição:

$$C_{GNC} = C_D / 0{,}923 \qquad [5]$$

onde 0,923 é relação entre um litro do diesel e um metro cúbico de GNC.

A economia de combustível diesel a cada ano chega a 30.824.000 l.

O consumo de GNC estimado para 2005 é de 32.486.000 m^3, com um custo de R$ 25.339.000,00, permitindo se economizar 29.985.000 l de combustível diesel e obter uma redução de custos de R$ 21.485.000,00. Entre 2006 e 2013 o consumo de GNC em cada ano seria 33.396.000 m^3, com um custo anual de R$ 26.049.000,00.

Considerando-se a diferença entre os preços do combustível diesel e GNC, calculou-se a redução dos custos de combustível por ano como sendo em R$ 22.086.000,00. Dessa forma, o beneficio para todo o período compreendendo entre 2006 e 2013 é igual a R$ 176.686.000,00, e a redução no consumo de combustível diesel para todo o período é de 246.592.000 litros.

Custo dos ônibus para o Cenário 1 – Ideal:

Neste cenário, denominado ideal, mas que considera a troca de toda a frota de uma só vez, existe certamente um investimento inicial considerável:

Investimento inicial = Frota do ônibus existente x Preço do ônibus a GNC [6]

ou seja,

Investimento inicial = 815 x R$ 212.160,00 = R$ 172.910.400,00

Considerando-se que os veículos substituídos sejam vendidos, como ocorre tradicionalmente com os ônibus urbanos que saem de circulação, deve-se levar em conta este valor. Na Tabela 16 são apresentados os valores esperados pela venda destes ônibus, formando o valor residual do cenário, segundo suas respectivas idades, obtidos a partir dos preços de mercado (MOLICAR, 2004) e totalizados para a frota de Campinas.

Tabela 16 : Valores de venda dos ônibus urbanos

Idade (anos)	Ônibus (unidades)	Preço de venda (R$)	Valor Total (R$)
1	105	108.000	11.340.000,00
2	105	95.040	9.979.200,00
3	105	83.635	8.781.675,00
4	100	73.599	7.359.900,00
5	100	64.767	6.476.700,00
6	100	57.048	5.704.800,00
7	100	50.202	5.020.200,00
8	100	39.096	3.909.600,00
TOTAL	815		58.572.075,00

Considerando-se que o aumento na quantidade de ônibus urbanos oferecidos no mercado de usados (oferta de 815 ônibus) provoque uma queda nos preços em torno de 18%, estimada pelos especialistas consultados, e que a venda dos mesmos se estenda por aproximadamente 1 ou 2 anos, isto reduz o valor total da venda em 13%. Desta forma, pode-se contar com um retorno financeiro equivalente a 69% do valor total de venda calculado, ou seja, R$ 40.414.730,00.

A partir do 2013 ainda vão existir grandes dificuldades para se obter ingressos pela venda dos ônibus usados a gás, pelo fato de ainda não existir um mercado estabelecido, sendo muito difícil acreditar que este irá surgir durante os próximos anos, devido à demora na chegada dos gasodutos de gás natural às cidades do interior do Estado de São Paulo. Desta forma, considerou-se o valor residual do Cenário 1 unicamente de 5% do investimento inicial, ou seja, R$ 8.645.520,00.

Todos estes cálculos nos permitem fazer uma análise do custo/Benefício do *Cenário 1- Ideal* apresentado na Tabela 17.

Tabela 17: Análise de custo/benefício de transformação da frota de ônibus para o uso de gás natural veicular- *Cenário 1- Ideal no período 2006-2013*

Período	Investimento Necessário (em mil R$)	Economia de combustível Diesel (em mil R$)	Custos de GNC (em mil R$)	Valor residual dos ônibus (em mil R$)	Fluxo de Caixa (em mil R$)
0	-172.910,40	-	-	-	-172.910,40
2006	-	48.135,00	-26.049,00	40.414,73	62.500,73
2007	-	48.135,00	-26.049,00	-	22.086,00
2008	-	48.135,00	-26.049,00	-	22.086,00
2009	-	48.135,00	-26.049,00	-	22.086,00
2010	-	48.135,00	-26.049,00	-	22.086,00
2011	-	48.135,00	-26.049,00	-	22.086,00
2012	-	48.135,00	-26.049,00	-	22.086,00
2013	-	48.135,00	-26.049,00	8.645,52	30.731,52

O diagrama de fluxos de caixa referente ao Cenário 1 é apresentado no Figura 5.1:

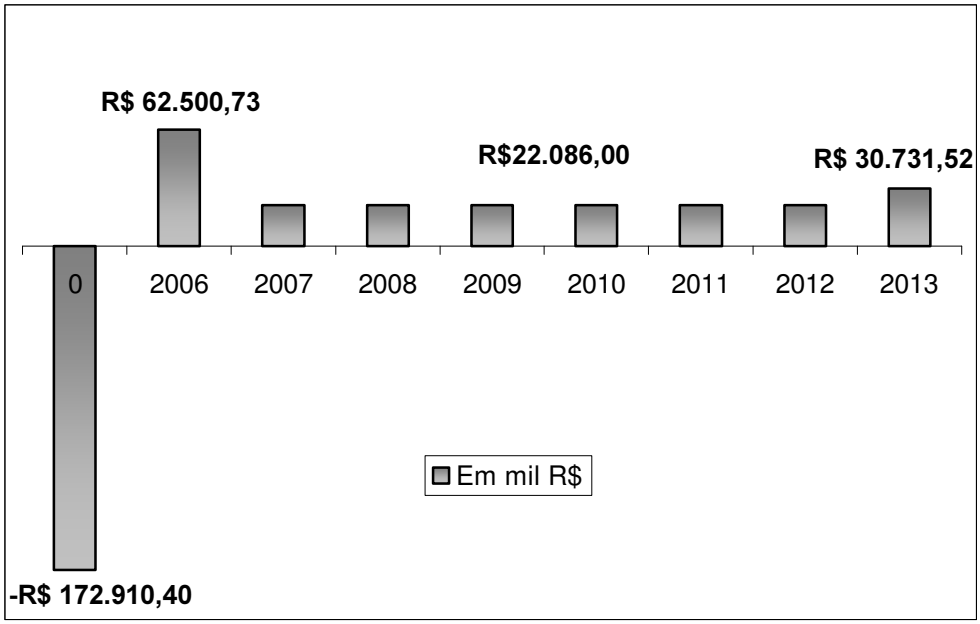

Figura 5.1 - Fluxo de caixa (em mil R$)- Cenário 1

Cabe destacar o alto valor do investimento inicial, que passa a ser R$ 172.910.040,00, que é uma soma considerável para ser investida pelo município de Campinas.

5.2.2 Cenário 2 – Ônibus com motores a Gás

Neste cenário se analisa a hipótese na qual a transformação da frota de ônibus para o uso de gás natural veicular – motor a gás ciclo *Otto* será feita de forma gradual, ou seja, a cada ano a renovação da frota planejada será feita por ônibus a GNC. A Tabela 17 mostra a idade dos veículos, podendo-se observar que a incorporação dos ônibus a GNC será feita com taxa de aproximadamente 100 ônibus por ano.

Com os dados da Tabela 14 se pode calcular que a quilometragem anual prevista para cada ônibus para os anos 2006-2013 será de 86.350 km. Considerando-se os dados usados no Cenário 1 obteve-se a Tabela 18.

Tabela 18: Dados da redução do consumo e dos custos dos combustíveis.

Ano	Consumo diesel [10^3 l]	Consumo GNC [10^3 m^3]	Redução Custo do combustível [10^3 R$]
2006	26.853	4.303	2.846
2007	22.882	8.605	5.691
2008	18.911	12.908	8.536
2009	15.128	17.005	11.246
2010	11.346	21.103	13.956
2011	7.564	25.200	16.666
2012	3.782	29.298	19.376
2013	0	33.396	22.086
Total	106.466	151.817	100.405

Custo do combustível para o Cenário 2 – Ônibus com motores a Gás:

A redução no consumo de combustível diesel para os anos de 2006 a 2013 foi calculada, a partir das Tabelas 14 e 18, como sendo de 140.127.433 litros.

Dado a diferença dos preços entre os combustíveis (diesel e GNC), a redução no Custo do combustível é de R$ 100.405.000,00.

Custo dos ônibus para o Cenário 2 – Ônibus com motores a gás:

Para fazer a análise dos custos para este cenário considerou-se a diferença dos custos entre os ônibus urbanos convencionais e os ônibus a GNC novos, porque a incorporação destes estaria sendo feita segundo o plano de renovação da frota. Esta diferença dos preços, segundo a Tabela 8, é 36% maior que um ônibus convencional, ou seja, R$ 38.384,00. Considerando os valores de venda dos ônibus urbanos da Tabela 16, foram feitos os cálculos dos custos da transformação da frota de ônibus para o uso de gás natural veicular – motor a gás de ciclo *Otto*.

Tabela 19: Custos da transformação da frota de ônibus para o uso de gás natural veicular- *Cenário 2- Ônibus com motores a Gás*

Ano	Renovação da frota de ônibus (un)	Valor da venda dos ônibus usados (R$)	Investimento para ônibus a GNC (R$)	Benefício (R$)
2006	105	4.105.080	4.030.320	74.760
2007	105	4.105.080	4.030.320	74.760
2008	105	4.105.080	4.030.320	74.760
2009	100	3.909.600	3.838.400	71.200
2010	100	3.909.600	3.838.400	71.200
2011	100	3.909.600	3.838.400	71.200
2012	100	3.909.600	3.838.400	71.200
2013	100	3.909.600	3.838.400	71.200
Total	815	31.863.240	31.282.960	580.280

Observa-se que no Cenário 2, para a transformação da frota não se precisa de altos investimentos como no Cenário 1; até se obtém um pequeno benefício de R$ 580.000,00. Mas este Benefício termina depois do ano 2013, uma vez que vai ser muito difícil vender os ônibus a GNC no mercado dos ônibus usados, já que este mercado não vai estar constituído para este tipo de ônibus. Por este motivo, assumiu-se para os cálculos dos custos posteriores ao ano de 2013, valor para os ônibus usados equivalente ao preço de sucata.

Todos os cálculos feitos anteriormente permitem construir a Tabela 20 para a análise custo/Benefício do *Cenário 2- Ônibus com motores a gás.*

Tabela 20: Análise de custo/benefício de transformação da frota de ônibus para o uso de gás natural veicular-Cenário *2- Ônibus com motores a gás*

Período	Investimento Necessário (em mil R$)	Economia de combustível Diesel (em mil R$)	Custos de GNC (em mil R$)	Valor residual dos ônibus (em mil R$)	Fluxo de Caixa (em mil R$)
0	-4.030,32	-	-	-	-4.030,32
2006	-4.030,32	6.201,36	-3.355,00	4.105,08	2.921,12
2007	-4.030,32	12.402,47	-6.711,90	4.105,08	5.765,33
2008	-3.838,40	18.603,58	-10.068,24	4.105,08	8.802,02
2009	-3.838,40	24.511,12	-13.263,90	3.909,60	11.318,42
2010	-3.838,40	30.417,09	-16.460,34	3.909,60	14.027,95
2011	-3.838,40	36.323,06	-19.656,00	3.909,60	16.738,26
2012	-3.838,40	42.229,03	-22.852,44	3.909,60	19.447,79
2013	-	48.135,00	-26.048,88	3.909,60	25.995,72

O diagrama de fluxos de caixa referente ao Cenário 2 é apresentado na Figura 5.2:

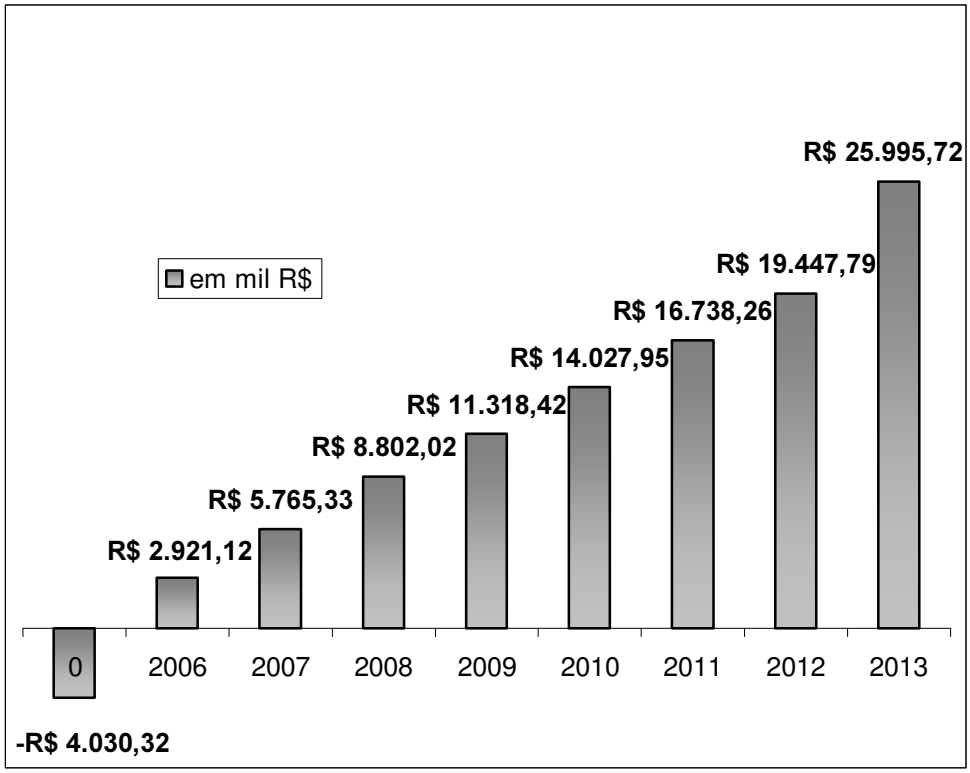

Figura 5.2 - Fluxo de caixa (em mil R$)- Cenário 2

A partir da análise do fluxo de caixa pode-se perceber que o Cenário 2 demanda um investimento inicial razoável, num valor de R$ 4.030.320.000,00, devido à diferença entre os preços dos ônibus convencionais e a GNC, obtendo-se o beneficio, que aumenta gradualmente durante o transcurso dos anos.

5.3 Análise do custo/benefício de transformação da frota de ônibus para o uso de gás natural veicular – motor a gás-diesel ciclo Diesel

5.3.1 Cenário 3 – Ônibus com motores a Gás-diesel

Em termos mais imediatos, pode-se reduzir o consumo de combustível diesel e aumentar o consumo de gás natural através do uso de GNC como combustível alternativo para veículos equipados com motor diesel, aplicando-se a tecnologia existente *dual fuel*, isto é, quando um motor diesel utiliza mistura GNC+combustível diesel. Esta fração do combustível diesel é usada como chama para incendiar o mistura gasosa.

Deve-se destacar que a conversão de um motor diesel para o uso de GNC no ciclo gás-diesel não elimina a possibilidade de trabalhar o motor com o combustível original. Esta combinação faz com que seja possível aumentar a distância a percorrer em comparação com um veículo equipado com um só dos sistemas. Neste *Cenário* se avalia a transformação da frota de ônibus existentes para o uso a tecnologia *dual fuel*. Para fazer os cálculos precisa-se assumir a hipótese de que a conversação dos ônibus a uso gás-diesel será feita no ano 2005.

Como foi dito anteriormente, a mistura de combustíveis usada no motor gás-diesel é 15% de combustível diesel e GNC que substitua 85% da quantidade original.

Tabela 21: Dados da redução do consumo e custos dos combustíveis Cenário 3

Ano	Consumo diesel [10^3 l]	Consumo GNC [10^3 m^3]	Redução do Custo do combustível [10^3 R$]
2006	4.624	28.386	18.774,00
2007	4.624	28.386	18.774,00
2008	4.624	28.386	18.774,00
2009	4.624	28.386	18.774,00
2010	4.624	28.386	18.774,00
2011	4.624	28.386	18.774,00
1012	4.624	28.386	18.774,00
2013	4.624	28.386	18.774,00
Total	**36.992**	**227.088**	**150.192,00**

Custo do combustível para o Cenário 3 – Ônibus com motores a Gás-diesel:

A redução no consumo de combustível diesel para os anos de 2006 a 2013 foi calculada a partir das Tabelas 14 e 21, como sendo de 209.604.900 litros.

Dada a diferença dos preços entre o combustível diesel e combustível composto por uma mistura de diesel e GNC, a redução do Custo do combustível é de R$ 150.192.000,00.

Custo dos ônibus para o Cenário 3 – Ônibus com motores a Gás-diesel

Para o Cenário 3 o custo de conversão de um ônibus convencional para o uso de gás-diesel foi considerado de R$ 10.000,00 (Anexo V), sendo o investimento total de R$ 8.150.000, para toda a frota. Dado que esta conversão não elimina a possibilidade

de trabalhar o motor com combustível diesel, será possível facilmente vender os ônibus usados no mercado dos veículos usados, obtendo um retorno financeiro que será levado em conta neste Cenário, ou seja, a cada ano se obterá cerca de R$ 4.000.000,00, sendo para o período de 2006-2013 o valor total de R$ 31.863.240,00.

Tabela 22: Análise de custo/benefício de transformação da frota de ônibus para o uso de gás natural veicular - *Cenário 3 – Ônibus com motores a gás-diesel*

Período	Investimento necessário (em mil R$)	Economia de combustível Diesel (em mil R$)	Custos de GNC (em mil R$)	Valor residual dos ônibus (em mil R$)	Fluxo de Caixa (em mil R$)
0	-1.050,00	-	-	-	-1.050,00
2006	-1.050,00	40.915,00	-22.141,00	4.105,08	21.829,08
2007	-1.050,00	40.915,00	-22.141,00	4.105,08	21.829,08
2008	-1.000,00	40.915,00	-22.141,00	4.105,08	21.879,08
2009	-1.000,00	40.915,00	-22.141,00	3.909,60	21.683,60
2010	-1.000,00	40.915,00	-22.141,00	3.909,60	21.683,60
2011	-1.000,00	40.915,00	-22.141,00	3.909,60	21.683,60
2012	-1.000,00	40.915,00	-22.141,00	3.909,60	21.683,60
2013	-	40.915,00	-22.141,00	3.909,60	22.683,60

O diagrama de fluxos de caixa referente ao Cenário 3 é apresentado na Figura 5.3:

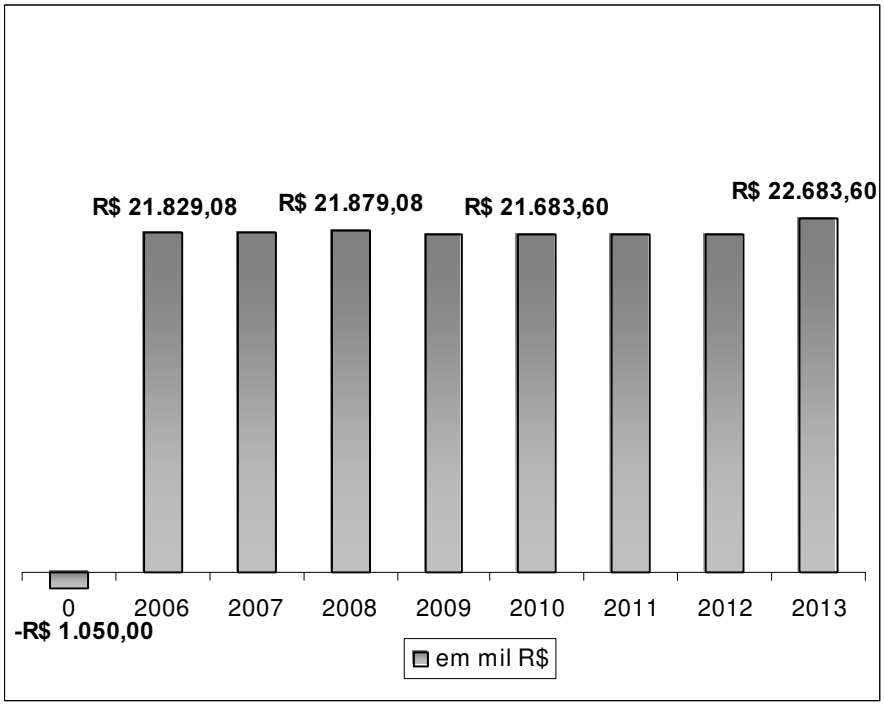

Figura 5.3 - Fluxo de caixa (em mil R$)- Cenário 3

Observa-se que no Cenário 3, com um investimento de R$ 1.050.000,00, se obtém um beneficio alto desde o primeiro ano de aplicação.

5.4 Análise da redução estimada dos principais poluentes locais e globais pelo uso de GNC

Esta seção apresenta uma avaliação econômica do ponto de vista do benefício para a sociedade do potencial de redução dos custos e emissões de poluentes, que poderão ser obtidos com a utilização do GNC como combustível em frota de ônibus urbanos de Campinas.

Custos externos para o Cenário 1 – Ideal:

A economia de combustível diesel a cada ano chega a 30.824.000 l, que nos permite calcular que durante os anos de 2006 a 2013 será economizado 246.592.000 l de combustível diesel. Considerando-se a taxa de emissão de CO_2 a partir da queima

de óleo diesel igual a 3.188 g/kg, a massa específica do diesel como 0,83 kg/l e o valor de US$ 10,00 para a tonelada de CO_2 evitada, pode-se calcular o valor evitado de emissão, levando-se em consideração somente 5% desse valor, que corresponde à função do desempenho energético dos motores ciclo Otto a GNC que substitui os diesel,

Valor evitado CO_2 = (246.592.000 x 0,83) x 3,188 x 0,01 x 0,05 = 326.246 (US$) [7]

Isto corresponde, considerando-se uma taxa de câmbio 1US$ = R$ 2,69, a um valor de R$ 877.601,00.

Considera-se que a quilometragem total percorrida durante o período de 2006 a 2013 seja 563.000.000 km. Para fazer os cálculos da redução dos impactos ambientais produzidos pelos gases de escape dos ônibus urbanos com motores diesel e os ônibus a GNC, foi tomado como referência o motor a GNC tipo CUMMINS C Gás Plus CG-250 com a potência do motor de 187 kW. Esta referência será usada também para os Cenários 2 e 3.

A Tabela 23 apresenta a redução estimada dos principais poluentes locais (NO_x, HCMN, CO, MP e SO_x) e o aumento do poluente global (CH_4), tomando os dados dos fatores de emissão da Tabela 12.

Tabela 23: Redução dos principais poluentes locais e globais [t/ano] para o *Cenário 1*

Ano	NO_x	CH_4	HCNM	CO	N_2O	MP	SO_x
2006	71.044	-16.221	2.055	39.551	353	1.332	16.541
2007	71.044	-16.221	2.055	39.551	353	1.332	16.541
2008	71.044	-16.221	2.055	39.551	353	1.332	16.541
2009	71.044	-16.221	2.055	39.551	353	1.332	16.541
2010	71.044	-16.221	2.055	39.551	353	1.332	16.541
2011	71.044	-16.221	2.055	39.551	353	1.332	16.541
2012	71.044	-16.221	2.055	39.551	353	1.332	16.541
2013	71.044	-16.221	2.055	39.551	353	1.332	16.541

Uma peculiaridade pode ser observada no que se refere à redução de emissões para este cenário. No caso das emissões locais se observa uma redução substancial, ao mesmo tempo em que para as emissões globais se observa aumento de CH_4, que é incapaz de ser compensado pela redução de emissões de CO_2, em função da menor eficiência dos motores GNC, e do fato de que os respectivos potenciais de aquecimento global para o CH_4 é 21 vezes superior ao do CO_2 (RIBEIRO, 2001). Por esta razão não se pode considerar para o Cenário 1 o valor evitado de emissão CO_2, expresso em R$.

Custos externos para o Cenário 2 – Ônibus com motores a gás:

Não se pode considerar para o Cenário 2 o valor evitado de emissão de CO_2 expresso em R$, pelos mesmos motivos explicitados no Cenário 1.

Tabela 24: Redução dos principais poluentes locais e globais [t/ano] para o *Cenário 2*

Ano	NO_x	CH_4	HCNM	CO	N_2O	MP	SO_x
2005	15.087	1.132	943	8.486	47	189	2.131
2006	24.240	-958	1.208	13.582	93	360	4.262
2007	33.393	-3.048	1.472	18.677	138	532	6.393
2008	41.827	-5.192	1.692	23.369	181	695	8.423
2009	50.544	-7.182	1.944	28.222	225	858	10.452
2010	59.261	-9.173	2.197	33.075	268	1.021	12.482
2011	67.978	-11.163	2.449	37.927	311	1.185	14.511
2012	76.695	-13.153	2.701	42.780	354	1.348	16.541
2013	71.044	-16.221	2.055	39.551	353	1.332	16.541

Neste caso, para todos os poluentes observa-se uma significativa redução nas emissões, gradualmente com a incorporação dos ônibus a GNC. Este quadro ressalta a importância da transformação da frota de ônibus para o uso de gás natural veicular.

Custos externos para o Cenário 3 – Ônibus com motores a gás-diesel

A Tabela 25 apresenta a redução estimada dos principais poluentes locais (NO_x, HCMN, CO, MP e SO_x) e globais (CH_4), calculada a partir da Tabela 12.

Tabela 25: Redução dos principais poluentes locais e globais [t/ano] para o *Cenário 3-Ônibus com motores a gás-diesel*

Ano	NO_x	CH_4	HCNM	CO	N_2O	MP	SO_x
2005	62.358	-2.064	1.976	34.692	307	1.142	14.052
2006	62.358	-2.064	1.976	34.692	307	1.142	14.052
2007	62.358	-2.064	1.976	34.692	307	1.142	14.052
2008	62.358	-2.064	1.976	34.692	307	1.142	14.052
2009	62.358	-2.064	1.976	34.692	307	1.142	14.052
2010	62.358	-2.064	1.976	34.692	307	1.142	14.052
2011	62.358	-2.064	1.976	34.692	307	1.142	14.052
2012	62.358	-2.064	1.976	34.692	307	1.142	14.052
2013	62.358	-2.064	1.976	34.692	307	1.142	14.052

Pode-se observar um aumento nas emissões globais de CH_4, que durante o período chega a 18.576 toneladas. O potencial de aquecimento global para o CH_4 é 21 vezes superior ao do CO_2, o que significa que estas emissões equivalem a 390.096 toneladas do CO_2.

Estimou-se uma economia de combustível diesel durante os anos de 2006 a 2013 como sendo de 209.604.900 litros. Ao longo dos 8 anos de operação espera-se uma redução de emissões da ordem de 554.622 toneladas de CO_2.

Para se fazer os cálculos do valor evitado de emissão de CO_2 neste período é necessário subtrair as emissões de CH_4 equivalentes ao CO_2, ou seja, para os cálculos se pode usar uma redução de emissões da ordem de 174.526 toneladas de CO_2. Se considerado o valor de US$ 10,00 por tonelada de CO_2 evitada, a redução de emissões

representa para a sociedade um ganho adicional durante os anos de 2006 a 2013 de R$ 4.694.749,00.

Não se pode considerar para os *Cenários 1* e *2* o valor evitado de emissão de CO_2 expresso em R$, porque para as emissões globais observa-se um aumento de CH_4 que, para respectivos potenciais de aquecimento global, é 21 vezes superior ao do CO_2 e que é incapaz de ser compensado pela redução de emissões de CO_2. Considerando-se as diferenças entre os desempenhos energéticos dos motores Diesel que são substituídos por ciclo Otto a GNC, esta redução de CO_2 é pouco significativa, podendo ser inferior a 5%. No *Cenário 3*, quando os ônibus utilizam o motor original transformado para utilizar a mistura gás-diesel, o aumento na emissão de CH_4 é superado pela redução nas emissões de CO_2, permitindo a obtenção de um ganho adicional, sendo este o cenário que propicia o maior benefício.

Os resultados dos cálculos obtidos para cada poluente, em toneladas de emissão para o período de 2006 a 2013, podem ser avaliados por meio do Tabela 26.

Tabela 26: Redução dos principais poluentes locais e globais durante o período de 2006 a 2013 [t].

Ano	NO_x	CH_4	HCNM	CO	N_2O	MP	SO_x
Cenário 1	568.349	-129.772	16.440	316.406	2.822	10.658	132.328
Cenário 2	440.069	-64.960	16.661	245.669	1.970	7.520	91.736
Cenário 3	561.221	-18.576	17.785	312.229	2.767	10.276	126.472

Observa-se que o uso de GNC proporciona representativas reduções de emissão para praticamente todos os poluentes locais. Já as emissões de CH_4 são

maiores (estão apresentados com símbolo “-“) para os ônibus movidos a GNC com motores ciclo Otto e para ônibus movidos a gás-diesel com motores ciclo Diesel do que para os similares movidos o combustível diesel, um resultado que, como já foi verificado, compromete a redução de emissão de gases de efeito estufa.

Comparando-se os três cenários se pode tirar a conclusão de que o *Cenário 3* tem redução dos principais poluentes locais muito próximos ao *Cenário 1*, apresentando como vantagens adicionais uma emissão muito menor de CH_4 e CO_2, representando para a sociedade um ganho adicional durante os anos de 2006 a 2013 de R$ 4.694.749,00, tornando o Cenário 3 o mais atrativo do ponto de vista da sociedade.

Capítulo 6 Discussões dos resultados

6.1 Comparação das diferentes alternativas na transformação dos ônibus urbanos para o uso do gás natural

A Tabela 27 apresenta uma síntese dos resultados nos cálculos efetuados nos cenários apresentados no item anterior.

Tabela 27: Comparação dos benefícios da transformação da frota de ônibus para o uso de gás natural comprimido - *período de 2006 a 2013*

	Cenário 1- Ideal	*Cenário 2- Ônibus com motores a Gás*	*Cenário 3 – Ônibus com motores a Gás-diesel*
Redução do consumo de combustível diesel (litros)	-246.592.000	-140.127.433	-209.604.900
Beneficio por redução do custo do combustível (R$)	+176.688.000,00	+100.405.000,00	+150.192.000,00
Investimento em transformação da frota (R$)	-172.910.400,00	-31.282.960,00	-8.150.000,00
Ingressos por venda os ônibus usados (R$)	+49.060.250,00	+31.863.240,00	+31.863.240,00
Benefício total (R$)	**52.837.850,00**	**100.985.280,00**	**173.905.240,00**

Observa-se que a maior redução do consumo de combustível diesel e redução dos custos do combustível ocorre no *Cenário 1*, sendo praticamente duas vezes maior que no *Cenário 2*, apesar dos dois cenários serem baseados no uso dos mesmos ônibus a gás. Esta diferença se deve ao fato de que no *Cenário 1* a substituição, de ônibus convencionais por ônibus a gás, é feita na forma da troca de toda frota praticamente instantânea, sem período de transição, que permita desde o principio deixar de usar o combustível diesel. Isto só será possível com investimentos muitos altos para a compra da nova frota, que não podem ser feitos pelo município de Campinas sem obtenção de crédito com juros baixos. Nos benefícios obtidos no *Cenário 1* não foram considerados estes juros. Investimentos para a transformação da frota no *Cenário 3* são mínimos, devido aos baixos custos de conversão dos ônibus convencionais com motor diesel para o uso de GNC em modo gás-diesel.

Atualmente os ônibus urbanos convencionais usados são vendidos para as outras cidades do interior do Estado de São Paulo. Para os *Cenários* 1 e *2* foram considerados os ingressos pela venda dos ônibus usados convencionais, mas a partir de 2013 passa a existir grandes dificuldades em se obter ingressos pela venda dos ônibus usados a gás, pelo fato de ainda não existir um mercado estabelecido, ainda é muito difícil acreditar que este irá surgir durante os próximos anos, devido à demora na chegada dos gasodutos de gás natural às cidades do interior do Estado de São Paulo.

No *Cenário 3* foram considerados ingressos pela venda dos ônibus usados, porque o conversão de um motor diesel para o uso de GNC no ciclo Gás-Diesel possibilita o funcionamento com o combustível original. Esta combinação permite que seja possível aumentar a distância percorrida em comparação com o veículo equipado com um só dos sistemas, o que torna muito atrativo no momento da venda. Além disso, a conversão do motor é reversível, permitindo-se desmontar o sistema de gás antes da efetivação da venda.

Para a avaliação econômica dos três cenários utilizou-se o Método do Benefício Líquido Anual Uniforme apresentado pela expressão matemática [4] e foram utilizados os dados das tabelas 17, 20 e 22.

Admitindo-se um período de utilização igual a 8 anos, efetuou-se as seguintes estimativas, expressas na Tabela 28.

Tabela 28 : Comparação dos Cenários da transformação da frota de ônibus para o uso de gás natural comprimido.

Localização	Investimento necessário (em mil R$)	Redução anual nos custos de combustível (em mil R$)	Valor residual do Cenário (em mil R$)
Cenário 1	-172.910,40	22.086,00	49.060,25
Cenário 2	-31.282,96	12.550,75	31.863,24
Cenário 3	-8.150,00	18.774,00	31.863,24

O benefício líquido anual uniforme para cada cenário é:

Cenário 1

U_1= -R$ 172.910.400,00 x (P/U, 15%,8) + R$ 22.086.000,00 + R$ 49.060.250,00 x (M/U,15%,8)

U_1= -R$ 172.910.400,00 x 0,223 + R$ 22.086.000,00 + R$ 49.060.250,00 x 0,327

U_1= -R$ 38.559.019 + R$ 22.086.000,00 + R$ 16.042.702,00

U_1= + R$ 430.317,00

Cenário 2

U_2= -R$ 31.282.960,00 x (P/U, 15%,8) + R$ 12.550.750,00 + R$ 31.863.240,00 x (M/U,15%,8)

U_2= -R$ 31.282.960,00 x 0,223 + R$ 12.550.750,00 + R$ 31.863.240,00 x 0,327

U_2= -R$ 6.976.100,00 + R$ 12.550.750,00 + R$ 10.419.279,00

U_2= + R$ 15.993.929,00

Cenário 3

U_3= -R$ 8.150.000,00 x (P/U, 15%,8) + R$ 18.774.000,00 + R$ 31.863.240,00 x (M/U,15%,8)

U_3= -R$ 31.282.960,00 x 0,223 + R$ 18.774.000,00 + R$ 31.863.240,00 x 0,327

U_3= -R$ 1.817.450,00 + R$ 18.774.000,00 + R$ 10.419.279,00

U_3= + R$ 27.375.829,00

Como o Cenário 3 - *Ônibus com motores a Gás-diesel* - é aquele que representa o maior benefício líquido anual uniforme, deve ser a preferido sob o ponto de vista econômico.

Agora, faremos uma avaliação dos cenários do ponto de vista da empresa do transporte urbano, supondo que o valor atual dos combustíveis não sofra alteração dos preços durante o período de avaliação e mantendo a tarifa de ônibus constante.

Devido ao fato da venda de ônibus usados ser um negócio que a empresa do transporte urbano está fazendo atualmente, então, do ponto de vista da empresa a comparação dos benefícios da transformação da frota de ônibus para o uso de gás natural comprimido - período de 2006 a 2013 da Tabela 27 transforma-se na seguinte Tabela 29:

Tabela 29: Comparação dos benefícios da transformação da frota de ônibus para o uso de GNC - *período de 2006 a 2013*

	Cenário 1- Ideal	*Cenário 2- Ônibus com motores a Gás*	*Cenário 3 – Ônibus com motores a Gás-diesel*
Beneficio por redução do custo do combustível (R$)	+176.688.000,00	+100.405.000,00	+150.192.000,00
Investimento em transformação da frota (R$)	-172.910.400,00	-31.282.960,00	-8.150.000,00
Benefício (R$)	**3.777.600,00**	**69.122.040,00**	**142.042.000,00**

Na Tabela 29 os investimentos demandados para transformação da frota para o uso de GNC variam segundo cada um dos cenários, demandando maior valor para o Cenário 1 devido à troca de toda a frota para ônibus a GNC com motor ciclo Otto, sem período de transição. No caso do Cenário 2, o valor do investimento corresponde a diferença entre os preços do ônibus convencional com motor diesel e do ônibus a GNC com motor ciclo Otto, quando a troca da frota seria feita de forma gradual com taxa de renovação de aproximadamente 100 ônibus por ano.

Menor investimento demanda o Cenário 3 e este valor corresponde à conversão de um motor diesel para o uso de GNC no ciclo gás-diesel que não elimina a possibilidade de trabalhar o motor com o combustível original. Esta conversão será feita

colocando um Kit, que pode ser desmontado posteriormente de um ônibus cuja vida útil acabou e montado novamente em outro que entra na renovação da frota.

Como se pode observar, em termos econômicos o Cenário 3 é mais atrativo para a empresa de transporte urbano, demandando menor investimento e trazendo melhor benefício por redução do custo do combustível.

Capítulo 7 Considerações Finais

No Brasil, no ano 2002, foram importados 6,39 bilhões de litros de combustível diesel, o que representa 17% do consumo total do país. Se a este combustível diesel importado for somado o combustível diesel obtido através o refino do petróleo importado, se pode dizer que 54,7% de todo o diesel consumido no Brasil é importado, diretamente como derivado ou indiretamente como petróleo bruto (BRASIL, 2003).

A redução do consumo de óleo diesel, principalmente nos setores que apresentam valores mais significativos, como é o caso dos transportes, é necessária e desejável. Uma visão de longo prazo indica a necessidade de investimentos direcionados à implantação de modos de transporte de maior capacidade, como trem e metrô, que dispõem de tração elétrica. Porém, os países em desenvolvimento, como é o caso do Brasil, não têm recursos disponíveis para atender a estas caras alternativas de transporte de massa. Neste contexto, as opções que têm se adequado à realidade brasileira e que contribuem para redução tanto do consumo de óleo diesel quanto da poluição atmosférica, consideram a manutenção do uso de ônibus urbanos conjugada à substituição do diesel por GNC.

Em 2002, a oferta interna bruta de gás natural era de 17,31 bilhões de m^3, porém foram consumidos unicamente 11,52 bilhões de m^3, que representam somente 66,5% do gás natural disponível. O setor de transporte rodoviário consumiu 1 bilhão de m^3 de gás natural, ou seja, 8,7% do consumo total.

Uma análise da frota de veículos por tipo de combustível de três estados em abril de 2004 demonstrou que a porcentagem de veículos utilizando gás natural ainda é muito pequena, quase insignificante: em São Paulo 0,05% da frota, no Paraná 0,3% e no Rio de Janeiro 5,6% (DETRAN, 2003). Essa baixa porcentagem de veículos a gás natural se deve à escassez de estações de carregamento de gás comprimido e isto se

deve à falta de consumidores, o que acaba gerando um círculo vicioso. Como no Estado do Rio de Janeiro há mais postos disponibilizando o gás, obviamente uma maior quantidade de usuários podem fazer a conversão do seu veículo para gás natural. Uma maneira de inserir o gás natural no mercado, rompendo esse círculo vicioso, é utilizá-lo para transporte urbano, em ônibus e veículos de carga urbana com motores propriamente a gás ou, então, em motores diesel convertidos para a tecnologia gás-diesel.

Devido a economicidade desse combustível, até o final de 2005 o número de carros a gás natural no Brasil deverá crescer 71%, chegando a 1,15 milhão de veículos, ou seja, 4% da frota de veículos do Brasil. Esse aumento, entretanto, não será significativo. Para fazer uma comparação, o Plano de Desenvolvimento dos Países Europeus para o ano 2020 prevê que a porcentagem de veículos movidos a gás chegue a 20% de toda a frota de veículos na Europa. Como exemplo, na Holanda, estima-se que o número desses veículos chegue a 800 mil.

Em termos mais imediatos, pode-se reduzir o consumo de combustível diesel no Brasil e aumentar o consumo de gás natural através do uso de GNC como combustível alternativo para veículos equipados com motor diesel, aplicando a tecnologia existente *dual fuel,* o gás-diesel, isto é, quando um motor diesel utiliza mistura GNC+combustível diesel. Esta fração do combustível diesel se usa como chama para incendiar o mistura gasosa. A tecnologia de gás-diesel pode ser aplicada praticamente de forma imediata para o transporte público e para o transporte de carga urbana.

Em termos de médio e longo prazo se pode usar os veículos com os motores desenvolvidos para o trabalho exclusivo com GNC, alterando a frota existente de veículos segundo as normas de substituição por tempo de uso ou por tempo percorrido. Isto tem que ser considerado como uma inversão muito grande, que será compensada com o passar do tempo por um menor Custo do combustível e uma maior durabilidade da tecnologia de GNC.

O estudo apresentado neste trabalho buscou fornecer uma exposição panorâmica das questões políticas, energéticas, ambientais e econômicas associadas ao uso do gás natural nos ônibus urbanos. Foi apresentada uma análise do custo/Benefício da transformação da frota de ônibus urbanos para o uso de gás natural veicular e as alternativas dessa transformação para o caso da cidade de Campinas. Adicionalmente, apresentou-se uma avaliação dos ganhos ambientais locais e globais, que podem ser obtidos a partir da transformação mencionada anteriormente.

7.1 Conclusões

O gás natural veicular, como GNC, é uma alternativa de substituição do uso de diesel no transporte rodoviário. Apesar do gás natural também ser um combustível fóssil, ele provoca um menor impacto ambiental que o diesel, principalmente reduzindo as emissões de gases de escape como produtos de combustão de motores, como hidrocarbonetos não queimados (HC), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NOx) e de enxofre (SOx) e material particulado (MP). Para o caso do motor diesel, o uso de gás natural permite reduzir em até 58% de NO_x, MP até níveis quase não detectáveis e SO_x praticamente nulos.

As reservas de gás natural no Brasil são abundantes (existem 236.592 milhões de m^3 de reservas aprovados para maço 2003), porém o uso de gás natural na matriz energética é pequeno, somente cerca de 2,4% em 1999. O Governo Federal espera chegar no ano de 2005 a uma participação de gás natural na matriz energética brasileira de 10% e para o ano 2010 cerca de 12%. Estas cifras não podem ser conseguidas sem o uso em massa do gás natural no transporte rodoviário.

A utilização de GNV como combustível permite ao Brasil reduzir as importações de combustível diesel e melhorar seus indicadores macroeconômicos.

A não-utilização da tecnologia do GNV como combustível de automóveis não está motivada por fatores tecnológicos ou ambientais, mas por fatores econômicos e políticos, que podem ser solucionados através da utilização dos instrumentos econômicos e do estabelecimento de políticas coordenadas para este fim.

A avaliação econômica realizada neste trabalho mostra que a transformação da frota de ônibus urbanos para o uso de gás natural veicular, praticamente de forma imediata, pode ser feita aplicando-se a tecnologia gás-diesel, com mínimos investimentos e com ganhos econômicos significativos, maior que qualquer alternativa avaliada.

Para os próximos anos o desafio para o Brasil é visto da seguinte forma:

- O uso de GNC por ônibus urbanos promove a construção das estações de abastecimento de gás natural, que por sua vez promove o aumento do número de carros a gás natural;
- O aumento do número de carros a gás natural viabilizará a disponibilidade de mais estações de abastecimento de gás, promovendo o desenvolvimento local.
- Num estágio mais avançado virão as estações de abastecimento de gás em corredores de transporte rodoviários interestaduais.

Dessa forma, tem-se uma infra-estrutura completa de abastecimento de gás natural, que poderá ser aproveitada para o futuro uso do hidrogênio em transporte.

A tecnologia do uso de GNC permite a transformação mais fácil e rápida para as tecnologias que utilizam hidrogênio. Por sua vez, a utilização de hidrogênio, respaldado por uma política de interesse nacional, significa a liberação total do domínio das empresas petrolíferas multinacionais e o estabelecimento de uma economia sólida e independente.

Uma forma mais eficiente e mais limpa de converter o gás natural em força motriz de transporte está em fase de estudo e desenvolvimento. Trata-se de converter o gás natural em hidrogênio e transformá-lo em eletricidade por meio de dispositivos

conhecidos como células a combustível. A eletricidade gerada dessa forma alimenta um motor elétrico, que é o sistema de propulsão de um veículo. A substituição da frota de ônibus movida a óleo Diesel por uma frota de ônibus elétricos utilizando células a combustível representa um grande avanço na melhoria das condições ambientais e de saúde pública. Ambientais porque a reação eletroquímica para produção de energia elétrica em uma célula a combustível possui como único subproduto a água. Isso reduz a zero todos os compostos formados na queima do óleo Diesel como os óxidos de nitrogênio, óxidos de enxofre e monóxido de carbono, que possuem também efeitos deletérios sobre a saúde humana.

Os protótipos de ônibus com células a combustível já construídos no mundo, mostram uma tendência para a utilização do hidrogênio na forma gasosa em cilindros de alta pressão. Esse hidrogênio seria produzido em centrais de abastecimento da frota urbana a partir, principalmente, da eletrólise da água. O Brasil possui ainda a opção do uso do etanol (álcool da cana-de-açúcar) como fonte de hidrogênio para abastecer esta frota.

ANEXOS

ANEXO I : Emissões de gases do ônibus por tipo de motor

Ônibus com motor Diesel

Número de ônibus Diesel	PM (g/milha)	NOx (g/milha)	HC (g/milha)	CO (g/milha)
1	2,83	18,40	2,10	40,90
2	3,10	20,20	4,90	26,60
3	1,68	22,90	1,00	23,80
4	2,19	24,00	1,00	27,10
5	1,20	24,30	1,50	16,00
6	1,26	21,20	1,50	11,30
7	1,66	23,20	1,60	19,00
8	1,48	27,90	1,90	13,10
9	2,29	20,00	3,20	12,50
10	1,83	26,30	2,60	9,50
11	1,91	21,90	2,60	11,70
12	1,44	27,90	2,10	9,20
13	1,68	23,80	2,30	13,00
14	1,32	29,30	1,90	12,80
15	2,05	19,50	2,50	11,10
16	1,67	25,10	2,20	8,10

Fonte: Fifth Annual Report to Congress (1996)

Ônibus com motor GNC

Número de ônibus GNC	PM (g/milha)	NOx (g/milha)	HC (g/milha)	CO (g/milha)
1	0,01	6,60	16,10	0,40
2	0,04	9,20	9,50	0,40
3	0,03	20,40	11,70	0,50
4	0,05	6,90	16,70	0,60
5	0,03	15,60	17,20	0,60
6	0,00	17,10	14,50	0,60
7	0,04	20,90	14,90	0,60
8	0,03	11,60	9,70	0,70
9	0,05	4,60	24,10	0,80
10	0,00	5,40	16,70	0,80
11	0,01	11,10	15,50	0,80
12	0,00	23,20	7,70	0,80
13	0,00	11,60	23,30	0,90
14	0,02	15,50	16,50	0,90
15	0,01	10,60	11,10	1,10
16	0,10	12,00	21,40	1,50
17	0,00	25,90	8,30	2,10
18	0,02	27,80	9,30	2,40
19	0,00	27,30	7,00	3,60
20	0,00	20,60	6,00	4,00
21	0,01	14,20	13,70	8,70
22	0,00	21,00	7,40	11,50
23	0,02	35,70	7,20	16,80

Fonte: Fifth Annual Report to Congress (1996)

ANEXO II: Parâmetros estatísticos para emissões de gases

	PM (g/milha)		*NOx (g/milha)*		*HC (g/milha)*		*CO (g/milha)*	
	Diesel	**GNC**	**Diesel**	**GNC**	**Diesel**	**GNC**	**Diesel**	**GNC**
Média	1,849375	0,020435	23,49375	16,29565	2,18125	13,28261	16,60625	2,656522
Erro	0,134767	0,005048	0,809293	1,70147	0,233848	1,106764	2,212587	0,863324
Mediana	1,68	0,01	23,5	15,5	2,1	13,7	12,9	0,8
Moda	1,68	0	27,9	11,6	2,1	16,7	#N/D	0,6
Desviação Padrão	0,539067	0,024211	3,237173	8,159962	0,935392	5,307855	8,850346	4,140359
Variância amostral	0,290593	0,000586	10,47929	66,58498	0,874958	28,17332	78,32862	17,14257
Curtosis	0,835487	4,082837	-0,81623	-0,20458	4,130756	-0,59778	2,576313	6,240499
Coeficiênte de asimetría	1,101262	1,754604	0,231717	0,560281	1,597797	0,49283	1,631865	2,544449
Posto	1,9	0,1	10,9	31,1	3,9	18,1	32,8	16,4
Mínimo	1,2	0	18,4	4,6	1	6	8,1	0,4
Máximo	3,1	0,1	29,3	35,7	4,9	24,1	40,9	16,8
Soma	29,59	0,47	375,9	374,8	34,9	305,5	265,7	61,1
Nº de medições	16	23	16	23	16	23	16	23
Confiança (95,0%)	0,287249	0,01047	1,724969	3,528636	0,498436	2,295291	4,716019	1,790427

ANEXO III: Impacto ambiental de emissões de gases

Número de veículo	Emissões GNC	Emissões Diesel
1	2,72	7,38
2	2,84	7,50
3	2,90	7,55
4	3,09	8,02
5	3,25	8,12
6	3,30	8,21
7	3,46	8,23
8	3,75	8,55
9	4,64	9,09
10	4,67	9,18
11	4,68	9,28
12	4,69	9,87
13	4,72	10,96
14	4,98	12,22
15	5,15	12,23
16	5,31	15,08
17	5,42	
18	6,02	
19	6,11	
20	6,51	
21	6,54	
22	7,40	
23	11,36	

Anexo IV: Parâmetros estatísticos para emissões de gases

	GNC	*Diesel*
Media	4,93521304	9,46776875
Erro	0,40146786	0,53665161
Mediana	4,6921	8,8208
Moda	#N/D	#N/D
Desviação padrão	1,92537223	2,14660646
Variância amostral	3,70705821	4,60791928
Curtosis	4,56633538	1,79051334
Coeficiênte de assimetria	1,68667862	1,44826265
Posto	8,6306	7,6939
Mínimo	2,7248	7,3832
Máximo	11,3554	15,0771
Soma	113,5099	151,4843
Nº de medições	23	16

ANEXO V

Petrobras limita preço de gás para ônibus

Rio, 28 de fevereiro 2004 - Com o objetivo de estimular o uso do gás natural - combustível menos poluente- nos ônibus urbanos, a Petrobras anunciou ontem que irá limitar o preço do produto a 55% do valor do óleo diesel (usado com mais freqüência no transporte rodoviário). Apenas empresas concessionárias de linhas de ônibus urbanos terão direito ao benefício. Ao consumidor final, o gás natural é vendido, em média, a R$ 1,076 o metro cúbico nos postos, segundo a Agência Nacional do Petróleo. O preço médio do litro do diesel nas bombas é mais alto: R$ 1,394 -as empresas de ônibus pagam um pouco menos, por comprar em grandes quantidades. Segundo a Petrobras, um metro cúbico de gás corresponde a 0,923 litro de diesel. Para a Petrobras, é um bom negócio aumentar o mercado de gás natural. Hoje, a estatal importa 15 milhões de metros cúbicos de gás natural da Bolívia. Pelas regras do contrato, porém, tem de pagar por 24 milhões de metros cúbicos, mesmo que não consiga vender esse volume às distribuidoras. Duas são as vantagens do gás natural: preço menor e redução na emissão de poluentes. De acordo com a Comgás (distribuidora de gás de São Paulo), o gás polui 50% menos do que o diesel. Além disso, não emite enxofre nem a fumaça preta característica dos carros a diesel. Com o controle do preço do gás, a Petrobras acredita que, em seis anos, 60% da frota de ônibus das principais regiões metropolitanas do país passe a usar o gás natural como combustível. Segundo a estatal, circulam hoje cerca de 50 mil ônibus nas grandes metrópoles. Atualmente, o uso do gás é bastante restrito: em São Paulo, por exemplo, só cem ônibus são movidos a gás, segundo a SPTrans, empresa municipal que gerencia o transporte coletivo. Ao todo, 15 mil veículos atuam no transporte coletivo da cidade. Desse total, 8.700 são ônibus e 6.300, vans e microônibus. A SPTrans prevê que, com a proposta da Petrobras, o número de ônibus a gás aumente para 170 no final deste ano. O maior entrave para aumentar o uso do gás natural é o custo de conversão dos veículos. Para adaptar o motor de um ônibus ao gás natural, a empresa terá de desembolsar cerca de US$ 10 mil por veículo.

Fonte: Agência Folha (PEDRO SOARES)

Referências Bibliográficas:

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1995) *Material Particulado em Suspensão na Atmosfera: Determinação da Concentração de Partículas Inaláveis pelo Método do Amostrador de Grande Volume Acoplado a um Separador Inercial de Partículas.* NBR 13412.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1997) *Material Particulado em Suspensão na Atmosfera: Determinação da Concentração de Partículas Inaláveis pelo Método do Amostrador de Grande Volume.* NBR 9547.

ARSENAULT, P., (1998), "Transport Durable" [Transporte Sustentável], , pag. 2, relatório quebequense KL3.

AUSTROADS (1998), "Sustainable transportation" [Meios de Transporte Sustentáveis], pag. 2-4, KL3 Relatório Nacional Australiano.

BALASSIANO, R., WHITE, P., (1997) *Experience of Compressed Natural Gás Bus Operations in Rio de Janeiro, Brazil.* Transporttation Research- D, Great Britain, Vol.2 No.2, pp.147-155

BANCO MUNDIAL, 1996 "Sustainable transport: sector review & lessons of experience" [Transporte sustentável: análise de setor & lições da experiência].

BRASIL, MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (2000) *Balanço Energético Nacional 2003- ano base 2002.* Brasília, D.F.

BRAZ, J. T. (1998) *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

CABRAL, Simone Dias. (1999) *Proposta metodológica para monitoramento da poluição atmosférica provocada pelo sistema de transporte rodoviário urbano:* O caso do monóxido de carbono. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro.

CATI – Coordenadoria de Assistência Técnica Integral. Secretaria da Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo, Projeto LUPA. *Estatística Agrícola do Estado de São Paulo*, 1996. Disponível em http://www.cati.sp.gov.br em novembro de 2003;

Clean Urban Transport.
Informações:http://europa.eu.int/comm/energy_transport/en/cut_en.html Acesso em: 03/06/2004;

CDU – Centro de Documentação de Urbanismo "*Villes et développement durable" [Cidades e desenvolvimento sustentável*], , METL – Ministério da Equipagem, dos Transportes e da Habitação, França, 1998.

DERÍSIO, J. C. 1992. *Introdução ao Controle de Poluição Ambiental*. São Paulo: CETESB

EIA/DOE, (2003) – International Energy Agency/Organisation for Co-Operation and Development. *Flexibility in natural gas supply and demand.* Paris, France, IEA publications, 2002, 273 page.

ELETRA - Informações sobre níveis de emissões e consumo de combustível disponíveis em www.eletrabus.com;

EMDEC(2004) – Empresa Municipal de Desenvolvimento de Campinas – *II Conferencia de Transportes e Trânsito, 14.08.2004*

EMTU - Empresa Metropolitana de Transportes Urbanos de São Paulo S.A. Informações disponíveis em http://www.emtusp.com.br/hidrogenio.htm. Acesso em: 07/06/2004;

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. (1993) C*lean Cars for Clean Air: Inspection and Maintenance* Programs". Disponível em: <*http://www.epa.gov/OMSWWW/14-insp.html*>, fev/ 2000

European Union Research. Informações disponíveis em *http://europa.eu.int/comm/research/energy/pdf/efchp_fuelcell20.pdf*. 03/06/2004;

FABUS (2002). *Informações Estatísticas.* São Paulo: Associação Brasileira dos Fabricantes de Ônibus.

FARAH, E.L. (2001) *A experiencia da Cidade de São Paulo na utilizacão do gás metano veicular.* Secretaria Municipal do Verde e do Meio Ambiente de São Paulo, Depto. De Controle da Qualidade Ambiental.

FEDERAL ALTERNATIVE MOTOR FUELS PROGRAMS (1996) . *Fifth Annual Report to Congress.* Disponível na Internet: http://www.afdc.doe.gov

FÓRUM, "G-8 Environment and Transport Futures Forum" [Fórum sobre o Futuro do Meio Ambiente e do Transporte], Royal Institute of International Affairs, Reino Unido, 1998.

FUEL CELL - Informações sobre projetos de implementação de ônibus com células a combustível disponíveis em www.fuelcell.org. Acessado em: 28/05/2004;

FUEL CELL BUS CLUB. Informações disponíveis em http://www.fuel-cell-bus-club.com. Acesso em 08/06/2004;

HOLLNAGEL, C., BORGES, L.H., MURARO, W. (1999) *Combustion development of the Mercedes-Benz MY1999 CNG- Engine M366LAG.* SAE, International Fall Fuels &Lubricants, Meeting &Exposition. Toronto, Canada, 2-28 October.

HONDA - Informações : *http://world.honda.com/factbook/auto/fcx/200212/*. Acessado em: 26/05/2004

LAVRUS, B.C., (1997) Vertientes de Energía, Moscú, Federação Rusa

LUZ, M. (2001) *Apresentacão Daimler-Chrysler.* Seminário "Ônibus, Vans ou Automóveis? Por uma melhor utilizacão do GNV nos centros urbanos" Rio de Janeiro, RJ, 11 de Julho.

MAGGETTO, G. & VAN MIERLO, J. (2001); *"Electric Vehicles, Hybrid Electric Vehicles and Fuel Cell Electric Vehicles: State-of-the-Art aa Perspectives"*; Ann. Chim. Sci. Mat., vol 26 (4), pp. 9-26;

MARQUES NETTO, J.A. (2001) *Análise de utilizacão de motores do ciclo Otto a gás natural para a frota de ônibus urbano na cidade de São Paulo.* SIMEA 2001, Associação Brasileira de Engenharia Automotiva (AEA), São Paulo, SP

MOLICAR (2004) *Economia e Transporte,* www.molicar,com.br , Acessado em: 22/12/2004

NTU (2003) *Dados Estatísticos da Confederação Nacional dos Transportes Urbanos – NTU.* Brasília: Confederação Nacional dos Transportes Urbanos, www.ntu.org.br

OCDE/IEA (2002) *Automotive fuels for the future- the search for alternatives.* Organization for Economic Co-operation and Development and International Energy Agency, Paris, France.

OCDE – PIARC/AIPCR (1998) *"Environment in transport policies"* [Meio ambiente em políticas de transportes], NVF [Associação Viária Nórdica] – FINNRA [Administração Viária da Finlândia] – IHME [Instituto de Formação Rodoviária e Marítima da Finlândia].

OKUDAIRA K., (1998) *"Sustainable transportation"* [Transporte sustentável], Relatório Nacional Japonês KL3, pág. 3.

OLIVEIRA, J.A. (1992) *Engenharia econômica: uma abordagem às decisões de investimento,* São Paulo: McGraw-Hill do Brasil.

PETROBRAS (2000) *Gás natural - informacões técnicas.* CONPET-Programa Nacional da Racionalização dos Uso de Derivados do Petróleo e do Gás Natural, Rio de Janeiro

RENEWABLE ENERGY WORLD (1999), London, James&James, Vol.2, No1, January.

RIBEIRO, S.K., (2001) *Transporte Sustentável alternativas para ônibus urbanos.* C, Rio de Janeiro, RJ

RIBEIRO, S.K., (2001) *Estudo das Vantagens Ambientais do Gás Natural Veicular: O Caso do Rio de Janeiro,* Rio de Janeiro, RJ

SANTOS S.M. (2001) *Análise Comparativa das Alternativas Energéticas em Corredores de Transporte Publico.* Campinas, SP

SERROA DA MOTTA, R. (1995), *Contabilidade Ambiental: Teoria, Metodologia e Estudos de Casos no Brasil.* Brasília

TOYOTA - Informações : www.toyota.co.jp/en/tech/environment/fchv/index.html. Acessado em: 26/05/2004;

USDOE - "Fuel Cell Vehicle World Survey 2003"; Breakthrough Technologies Institute, Washington, DC; US DOE – Energy Efficiency and Renewable Energy; February, 2004.

VASCONCELLOS, E. A. (1996) *Transporte urbano nos países em desenvolvimento:* reflexões e propostas, Ed. Unidas São Paulo.

WESTPORT (2004) *The Natural Evolution Of Power*, Bulletin 4103667, USA

VIEIRA S. (1985) *Estatística. Introdução Ilustrada.* ATLAS, São Paulo.

WONNACOTT, T. H. (1990) *Introductory Statistics*. WILEY, Canada.

Abstract

LOBKOV, Dmitri Dmitrievich, *Economical Analysis for the Substitution of diesel fuel by CNG in the passengers´s public transport;* Civil Engineering College, STATE UNIVERSITY OF CAMPINAS, 2005. 122 p. Dissertation (Master Degree)

This work presents strong economical and enviromental arguments in favour of the use of CNG (Compress Natural Gas) in the passengers´s public transport (buses).

The main object of this work is to analyse and compare the real experience in the use of gas/diesel fuel in Brazil and in other countries in an attempt to give an alternative gas fuel system in the public transport.

Also it establishes and explains the economical advantage in reducing the consume of diesel fuel in the gas/diesel buses, by the use of a diesel/CNG mixture.

Finally, the calculations made show the increasing demand of CNG with the substitution of diesel fuel by CNG in the buses of the public transport.

Key Words

Sustainable transport, Tailpipe Emission, Natural Gas, Gas/diesel, Hydrogen.