

A VIABILIDADE TÉCNICA, ECONÔMICA E AMBIENTAL DA INSERÇÃO  
DO GÁS NATURAL VEICULAR EM FROTAS DO TRANSPORTE  
COLETIVO URBANO DE PASSAGEIROS

Guilherme Wilson da Conceição

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS  
PROGRAMAS DE PÓS – GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS  
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM  
PLANEJAMENTO ENERGÉTICO.

Aprovada por:

---

Prof. Roberto Schaeffer, PhD.

---

Prof. Alexandre Szklo, D.Sc.

---

Prof. Luiz Pinguelli Rosa, D.Sc.

---

Prof. Suzana Kahn Ribeiro, D.Sc.

---

Prof. José Cesário Cecchi, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL  
DEZEMBRO DE 2006

CONCEIÇÃO, GUILHERME WILSON

A viabilidade técnica, econômica e ambiental  
da inserção do gás natural veicular em frotas  
do transporte coletivo urbano de passageiros  
[Rio de Janeiro] 2006

XXIII, 268 p. 29,7 cm (COPPE/UFRJ, M.Sc.,  
Planejamento Energético, 2006)

Dissertação - Universidade Federal do Rio  
de Janeiro, COPPE

1. Gás Natural
2. Combustíveis Alternativos
3. Transporte Público
4. Transporte Sustentável
5. Ônibus a Gás Natural,

I. COPPE/UFRJ II. Título ( série )

*Ao meu pai e minha mãe,  
por uma vida inteira dedicada aos  
filhos com sacrifício, exemplo e carinho.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço aos professores Roberto Schaeffer e Alexandre Szklo, orientadores neste trabalho, sempre muito presentes. Agradeço pela paciência e confiança recebidos nestes últimos meses.

Aos amigos e colegas de turma do PPE, Anelise (Ane), Flávio (Bob Esponja...rs), Rodrigo, Cristiano, Pablo, Carol, Fernanda (Fe) e Gerson., pelos momentos que passamos juntos. E à querida Sandra, nossa secretária acadêmica, sempre disponível aos problemas nossos.

Agradeço ao amigo e incentivador Willian Aquino. As poucas palavras não podem agradecer à amplitude de suas generosas contribuições nestes últimos três anos e meio. Aquela breve conversa no Aeroporto de Congonhas (dentre outras), em maio de 2003, foi uma semente boa que pode produzir um fruto útil e maduro. Mais uma vez obrigado.

Ao amigo Armando Hinds pela visão, experiência e conhecimento sempre transmitidos na construção e desenvolvimento deste trabalho. À Richele pela compreensão, nas atividades da Fetranspor, como alguém que verdadeiramente entendia o processo pelo qual eu estava passando. Ao Dr. Urquiza pela visão e incentivo iniciais, os quais puderam permitir o desenvolvimento desta dissertação.

À Agência Nacional do Petróleo - ANP pela ajuda financeira.

A todos aqueles que se dispuseram e apoiaram na disponibilização de materiais, documentos e preciosas informações necessárias à elaboração desta investigação. À todos muito obrigado.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

**A VIABILIDADE TÉCNICA, ECONÔMICA E AMBIENTAL DA INSERÇÃO  
DO GÁS NATURAL VEICULAR EM FROTAS DO TRANSPORTE  
COLETIVO URBANO DE PASSAGEIROS**

Guilherme Wilson da Conceição

Dezembro/2006

Orientadores: Roberto Schaeffer  
Alexandre Szklo

Programa: Planejamento Energético.

Esta dissertação analisa as variáveis e condições que possuem relação com a viabilidade técnica, ambiental e econômica da inserção do gás natural veicular em substituição ao óleo diesel no transporte público urbano de passageiros.

Esta dissertação discute e apresenta as tecnologias veiculares disponíveis para a operação de ônibus a gás natural no Brasil, sob a ótica de desempenho energético e ambiental, comparando-as à tecnologia diesel convencional. A comparação com os novos e modernos veículos diesel também será considerada neste estudo.

O estudo de viabilidade econômica entre as diferentes rotas tecnológicas veiculares para o gás natural é realizado, comparando o desempenho do gás natural, em diferentes rotas, com o desempenho obtido com veículos pesados do ciclo diesel (modernos e convencionais).

Os resultados apontam para a viabilidade econômica do uso do gás natural através das rotas tecnológicas de conversão, a saber: Dual Fuel e Ottolisação. A rota Dedicada apresenta, ainda, desvantagem econômica quando comparada à tecnologia diesel convencional. Em todas as rotas tecnologias o preço final do diesel é a variável que maior potencial tem para impactar na economicidade do uso do gás natural em coletivos urbanos.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master Science (M.Sc.)

THE TECHNICAL, ENVIRONMENTAL AND ECONOMIC FEASIBILITY OF THE COMPRESSED NATURAL GAS DEVELOPMENT IN THE PASSENGER URBAN PUBLIC TRANSPORTATION

Guilherme Wilson da Conceição

December/2006

Advisors: Roberto Schaeffer  
Alexandre Szklo

Department: Energy Planning.

This dissertation analyzes the technical, environmental and economic feasibility of the compressed natural gas promotion replacing the diesel in the passengers urban public transportation.

Natural gas technologies available for buses fueled with compressed natural gas in Brazil are discussed, analyzed and compared, according to their energy and environmental performance, to the conventional diesel technology. The aspects related to the new and modern diesel heavy-duty vehicles will be also considered in this study.

An economic feasibility study among different technological routes for the compressed natural gas is realized, comparing the performance of the compressed natural gas, in different technological routes, to the performance perceived by diesel heavy-duty vehicles (modern and conventional).

The findings showed that Dual Fuel and Ottolised buses are economic feasible. The dedicated route is, however, not competitive when compared to conventional diesel engines. The diesel price is the most important variable in the economic analysis of natural gas fueled buses.

## ÍNDICE

<b>CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
1.1 – A estrutura da dissertação	6
1.1.1 – O problema	6
1.1.2 – O objetivo	8
1.1.3 – A organização da dissertação	9
<b>CAPÍTULO 2 – CONTEXTUALIZAÇÃO E EXPERIÊNCIAS EXISTENTES</b>	<b>12</b>
2.1 – Histórico de experiências com a utilização do gás natural em ônibus	12
2.1.1 - Experiências nacionais com ônibus a gás natural	14
2.1.2. - A Experiência de São Paulo	18
2.1.2.1 – O Plano de Alteração de Combustíveis – PAC – São Paulo	23
2.1.3 – Experiências internacionais	29
2.2 – Contextualização de Aspectos Legais e de Regulamentação dos ônibus a gás natural	35
<b>CAPÍTULO 3 – TECNOLOGIA DEDICADA AO USO DO GÁS NATURAL</b>	<b>47</b>
3.1 – A experiência da Mercedes Bens do Brasil	47
3.1.1 – O motor de 1 <sup>a</sup> geração	57
3.1.2 – O motor de 2 <sup>a</sup> geração	58
3.1.3 – O motor de 3 <sup>a</sup> geração	59
3.2 – Outras experiências com motor Dedicado no Brasil	63
3.3 – Custos associados à tecnologia Dedicada no Brasil	64
3.3.1 – Custo de oportunidade da revenda do ônibus	68
<b>CAPÍTULO 4 – TECNOLOGIA DUAL FUEL</b>	<b>70</b>
4.1 – Características da utilização de motores alimentados simultaneamente por gás natural e diesel	75
4.2 – Kits de conversão Dual Fuel	77
4.3 – A experiência do CENPES/PETROBRAS	80

4.3.1 – Os primeiros sistemas de conversão	
Dual Fuel testados pelo CENPES	83
4.3.2 – O dispositivo eletrônico do CENPES	84
4.3.3 – Avaliação dos sistemas de conversão	
em testes de campo	86
4.3.4 – Última experiência do CENPES	89
4.4 – As experiências com a empresa de Kits Dual Fuel AFS Corporation	94
4.4.1 – Resultado dos testes com motores	
naturalmente aspirados	97
4.4.2 – Resultado dos testes com motor turbinado	99
4.5 – A experiência da empresa de ônibus TREL – Rio de Janeiro (2006)	100
4.6 – Custos associados à tecnologia Dual Fuel	102
<b>CAPÍTULO 5 – TECNOLOGIA DE OTTOLISAÇÃO</b>	<b>104</b>
5.1 – Principais dispositivos da conversão	105
5.2 – Barreiras à Ottolisação	109
5.3 – Custos associados à tecnologia de Ottolisação	111
<b>CAPÍTULO 6 – MOTORES DIESEL MODERNOS</b>	<b>112</b>
6.1 – O motor diesel eletrônico	114
6.2 – Sistemas de pós-tratamento dos gases de exaustão	117
6.2.1 – O sistema de pós-tratamento (ônibus Diesel) previsto para 2008 na Europa – EURO V	119
6.2.2 – O catalisador de oxidação – veículo diesel – DOC	120
6.2.3 – O filtro de particulados – DPF	121
6.2.4 – O sistema seletivo catalítico – SCR	123
6.2.5 – O sistema de recirculação dos gases – EGR	127
6.2.6 – O sistema de pós-tratamento (ônibus a gás) previsto para 2008 na Europa – EURO V	128
6.2.7 – O sobre-custo dos sistemas de pós-tratamento dos gases	130
<b>CAPÍTULO 7 – SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE GÁS NATURAL</b>	<b>132</b>
7.1 – Sistemas de Abastecimento	134
7.1.1 – Gás comprimido	134
7.1.2 – Gás liquefeito	137

7.2 – Sistemas alternativos	138
7.2.1 – Abastecimento coletivo	138
7.2.2 – Abastecimento virtual	139
7.3 – Sistema de abastecimento no veículo	143
7.3.1 – Cilindros de armazenamento	145
7.3.1.1 – Cilindros pesados	145
7.3.1.2 – Cilindros leves	146
7.4 – Custos associados à infra-estrutura de abastecimento e compressão	149
<b>CAPÍTULO 8 – CENÁRIOS DE VIABILIDADE ECONÔMICA</b>	<b>153</b>
8.1 – Viabilidade para 1 (um) veículo a gás natural	157
8.1.1 – Viabilidade com preço do gás no mercado varejista	158
8.1.2 – Viabilidade com preço do gás a 55% do preço do diesel	163
8.2 – Viabilidade para uma frota de 80 veículos a gás natural	168
8.2.1 – Metodologia e condições de contorno consideradas	168
8.2.2 – Viabilidade com preço do gás a 55% do preço do diesel – inserção de 20 veículos Dedicados / ano	172
8.2.3 – Viabilidade com preço do gás a 55% do preço do diesel – inserção de 40 veículos Dedicados / ano	174
8.2.4 – Viabilidade com custo de Infra-estrutura	
Tipo I – inserção de 20 veículos Dedicado / ano	176
8.2.5 – Viabilidade com custo de Infra-estrutura	
Tipo I – inserção de 40 veículos Dedicados / ano	178
8.2.6 – Viabilidade com custo de Infra-estrutura	
Tipo II – inserção de 20 veículos Dedicados / ano	179
8.2.7 – Viabilidade com custo de Infra-estrutura	
Tipo II – inserção de 40 veículos Dedicados / ano	181
8.2.8 – Viabilidade com custo do serviço de compressão – inserção de 20 veículos Dedicados / ano	182
8.2.9 – Viabilidade com custo do serviço de compressão – inserção de 40 veículos Dedicados / ano	184
8.3 – Análises de sensibilidade para as tecnologias	186
8.3.1 – Tecnologia Dual Fuel	186
8.3.2 – Tecnologia de Ottolisação	189

8.3.3 – Tecnologia Dedicada	191
8.4 – Análise de sensibilidade do preço final do gás	194
8.5 – Análise das condições favoráveis ao uso do gás natural em veículos Dedicados de fábrica	198
8.6 – Análise Comparativa entre Ônibus a Gás Natural Dedicado e Ônibus a Diesel Modernos	206
<b>CAPÍTULO 9 – CONCLUSÕES</b>	<b>216</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS</b>	<b>220</b>
<b>ANEXOS I - LEGISLAÇÕES SOBRE GÁS NATURAL VEICULAR</b>	<b>241</b>
<b>ANEXOS II - TARIFA DE TRANSPORTE</b>	<b>250</b>
<b>ANEXOS III - METODOLOGIAS E VARIÁVEIS DE CÁLCULO DAS VIABILIDADES ECONÔMICAS</b>	<b>257</b>
<b>ANEXOS IV - EVOLUÇÃO DO PREÇO DO ÓLEO DIESEL E DO GÁS NATURAL NO BRASIL</b>	<b>265</b>

## FIGURAS

### CAPÍTULO 3 – TECNOLOGIA DEDICADA AO USO DO GÁS NATURAL

Figura 1: Variação de parâmetros do motor a gás natural em função do fator lambda - $\lambda$ .....	50
Figura 2: Gráfico das Exportações de Veículos Dedicado Mercedes Bens do Brasil .....	51
Figura 3: Gráfico das Vendas Internas de Veículos Dedicado Mercedes Bens do Brasil .....	51
Figura 4: Esquema básico do motor aspirado.....	58
Figura 5 - Esquema básico do gerenciamento eletrônico com componentes principais do motor M366LAG com sistema de gerenciamento OH-I com mistura pobre (Lean – Burn Control System). .....	59

Figura 6: Comparação entre as curvas de torque – motor diesel e motor dedicado ao gás natural .....	61
---	----

Figura 7: Comparação entre as curvas de consumo específico – motor diesel e motor dedicado ao gás natural .....	62
---	----

Figura 8 – Comparação entre as curvas de potência – motor diesel e motor dedicado ao gás natural .....	62
--	----

### CAPÍTULO 4 – TECNOLOGIA DUAL FUEL

Figura 9: Diagrama de funcionamento de um kit Dual Fuel de 1a Geração .....	78
---	----

Figura 10: Diagrama de funcionamento de um kit Dual Fuel de 2a Geração .....	79
--	----

Figura 11: Funcionamento da injeção um kit Dual Fuel de 4a Geração .....	80
--	----

Figura 12: Diagrama de um Kit Dual Fuel com o dispositivo do CENPES .....	85
---	----

Figura 13: Curvas de rendimento térmico .....	90
---	----

Figura 14: Curvas de torque .....	90
-----------------------------------	----

Figura 15: Redução dos níveis de emissão de fumaça-preta de um veículo Dual Fuel .....	91
--	----

## CAPÍTULO 5 – TECNOLOGIA DE OTTOLISAÇÃO

Figura 16: Cabos de Vela de Competição / 6 Velas Modelo 683 559C .....	105
Figura 17: Conjunto de conectores e fixadores; / Sonda Lambda LSH6 (4 Fios) .....	105
Figura 18: Borboleta / 2 Válvulas Reguladora de Pressão .....	105
Figura 19: Volante Dentado / Sensor de Rotação (Bosch) .....	106
Figura 20: Centralina / Mangueiras .....	106
Figura 21: 6 Pistões / Mesclador .....	106
Figura 22: Conjunto de cabos e conectores elétricos / Válvula controladora de vazão de Gás .....	106
Figura 23: Jogo de junta (Original Mercedes Bens); .....	106
Figura 24: Conjunto de Bobinas / Árvore do Comando de Válvulas .....	107
Figura 25: Escape / Coletor de Admissão. ....	107
Figura 26: Cabeçote do Motor .....	107

## CAPÍTULO 6 - MOTORES DIESEL MODERNOS

Figura 27: Sistema completo de pós-tratamento dos gases de um ônibus diesel padrão EURO V. ....	119
Figura 28: Gráfico da evolução da concentração de enxofre no diesel da Europa.....	120
Figura 29: Sistema de pós-tratamento completo com catalisador de oxidação.....	121
Figura 30: Filtro de Particulado tipo CR-DPF (fabricante:Johson Matthey) .....	122
Figura 31: Redução dos níveis de material particulado utilizando-se CR-DPF com diferentes níveis de concentração de enxofre no óleo diesel.....	123
Figura 32: Redução dos níveis de emissão de material particulado e NOx, na Europa .....	124
Figura 33: O sistema Seletivo Catalítico – SCR .....	125
Figura 34: Sistema Catalisador do SCR (Três níveis) .....	125
Figura 35: Recirculação dos Gases.....	127
Figura 36: Sistema completo de pós-tratamento dos gases .....	128

## CAPÍTULO 7 – SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE GÁS NATURAL

Figura 37: Seqüência de fotos; mostrando o esquema de funcionamento de uma estação de abastecimento rápido de gás comprimido.....	135
Figura 38: Abastecimento de gás liquefeito em Dallas (EUA) .....	137
Figura 39: Tecnologia de transporte de gás natural comprimido – caminhão feixe. ....	140
Figura 40: Tecnologia de transporte de gás natural comprimido – caminhão feixe, tecnologia NEOGAS. ....	141
Figura 41: Tecnologia de transporte de gás natural comprimido, tecnologia GALILEO.....	142
Figura 42: Suporte e fixação dos cilindros de armazenamento – cilindros de aço fixados diretamente .....	143
Figura 43: cilindro leve de fibras de carbono / tubulação do sistema de alta pressão / suporte dos cilindros de armazenamento – fixação no chassis do veículo .....	144
Figura 44: Tubulações e conexões do sistema de alta pressão .....	144
Figura 45: Sistemas e válvulas de abastecimento.....	144
Figura 46: Cilindros de aço – produção a partir de tubos sem costura e chapas .....	146
Figura 47: Cilindros leves em fibra de carbono com liner de alumínio .....	147
Figura 48: Cilindros leves em fibra de Kveler sendo bobinados sobre liner de plástico.....	147
Figura 49: Cilindros leves em fibra de Kveler após processo final de fabricação. ....	147
Figura 50: Investimento em estação de compressão .....	151
<b>CAPÍTULO 8 - CENÁRIOS DE VIABILIDADE ECONÔMICA</b>	
Figura 51: Gráfico da receita líquida em valor presente e o preço final do gás natural.....	166
Figura 52: Gráfico - Análise de sensibilidade para os veículos Dual Fuel. ....	187

Figura 53: Gráfico - Análise de sensibilidade para os veículos Ottolisados .....	190
Figura 54: Gráfico - Análise de sensibilidade para os veículos Dedicados .....	192
Figura 55: Gráfico - Análise de sensibilidade – preço final do gás natural .....	195
Figura 56: Gráfico : Análise de sensibilidade do preço final do gás natural.....	196
Figura 57: Gráfico - Análise de sensibilidade da tecnologia Dedicada em Condições Especiais 1 .....	199
Figura 58: Análise de sensibilidade da tecnologia Dedicada em Condições Especiais 1. Considerando Receita Líquida por veículo inserido .....	201
Figura 59: Análise de sensibilidade da tecnologia Dedicada em Condições Especiais 2 de operação .....	202
Figura 60: Análise de sensibilidade da tecnologia Dedicada em Condições Especiais 2. Considerando Receita Líquida por veículo inserido .....	204
Figura 61: Análise de sensibilidade para os veículos Dedicados, em comparação aos veículos diesel modernos .....	211
<b>ANEXOS – I, II, III e IV</b>	
Figura 62: Evolução da demanda de passageiros, modal ônibus – Rio de Janeiro .....	248
Figura 63: Gráfico da evolução do preço do óleo diesel e do gás natural no mercado varejista .....	262
Figura 64: Gráfico da evolução do preço do petróleo no mercado internacional.....	263
Figura 65: Gráfico da evolução do óleo diesel no mercado internacional .....	264
Figura 66: Gráfico da evolução do óleo diesel no mercado internacional .....	265

## TABELAS

### **CAPÍTULO 2 – CONTEXTUALIZAÇÃO E EXPERIÊNCIAS EXISTENTES**

Tabela 1: Algumas das principais experiências com ônibus a gás no Brasil .....	13
Tabela 2: Quadro de Evolução do PAC - Dados Apresentados na Reunião de 25/08/98 do CADES .....	27
Tabela 3: Posição da frota movida a gás natural. - Em atendimento à Lei 10.950/91, alterada pela Lei 12.140/96 .....	28
Tabela 4: Frota de ônibus existente, encomendada e encomendas potenciais, nos EUA no ano 2000.....	29
Tabela 5: Frota atualizada de ônibus a gás natural existente em diferentes países do mundo.....	34
Tabela 6: Limites de Emissões do Programa de Controle de Emissões Veiculares - PROCONVE (para Ônibus Urbanos) .....	37
Tabela 7: Comparação de Valores Típicos de Emissão de Motores para Ônibus Urbanos.....	37
Tabela 8: Valores limites - ensaios ESC (13 PONTOS NOVO) e ELR .....	38
Tabela 9: Valores limites - ensaios ETC (TRANSIENTE).....	38

Tabela 10: Evolução comparativa dos motores CUMMINS a gás natural em relação aos motores diesel.....	41
--	----

### **CAPÍTULO 3 – TECNOLOGIA DEDICADA AO USO DO GÁS NATURAL – OEM**

Tabela 11: Dificuldades Técnicas - Motor a Gás - Primeira Geração - 1990/93 .....	52
Tabela 12: Características dos Motores a Gás – Primeira e Segunda Geração .....	53
Tabela 13 - Evolução Tecnológica em Direção ao Motor a Gás de Terceira Geração da MBB.....	55
Tabela 14 – Principais características do motor de terceira geração.....	60
Tabela 15: Preço de um veículo dedicado ao gás natural .....	65

Tabela 16: Preço de um veículo a diesel convencional.....	66
Tabela 17: Diferença de Preço entre um ônibus a gás natural e um ônibus diesel convencional.....	66
Tabela 18: Custo de oportunidade da revenda.....	69
<b>CAPÍTULO 4 – TECNOLOGIA DUAL FUEL</b>	
Tabela 19: Taxa de Compressão e Rendimento Térmico de Motores.....	70
Tabela 20: Kits Dual Fuel testados pelo CENPES na década de 1980 .....	83
Tabela 21: Desempenho do veículo convertido com Kit Dual Fuel operando apenas com diesel .....	87
Tabela 22: Desempenho do veículo convertido com Kit Dual Fuel operando com GNC e diesel.....	87
Tabela 23: Veículos Dual Fuel testados no Rio de Janeiro – década de 80 .....	88
Tabela 24: Resultado detalhado de teste Dual Fuel no Rio de Janeiro com kit equipado com dispositivo eletrônico do CENPES – mês 1 .....	92
Tabela 25: Resultado detalhado de teste Dual Fuel no Rio de Janeiro com kit equipado com dispositivo eletrônico do CENPES – mês 2.....	93
Tabela 26: Desempenho de ônibus em tráfego urbano com diferentes motores.....	95
Tabela 27: Comparação de Desempenho entre ônibus dedicado a Gás Natural e a Diesel .....	95
Tabela 28: Emissões de um motor Mercedes Benz OM 366LA com combustível Dual, kit AFS, em g/kWh, sem catalisador, University of Alberta (1997) - ENSAIO 13 PONTOS.....	96
Tabela 29: Emissões de um motor HINO K13U, aspirado naturalmente, com combustível diesel/gás natural, kit AFS, em g/kWh, usando catalisador.....	96
Tabela 30: Características dos testes com ônibus da CCTC (1997), Viação Santa Madalena (1997 e 1998) e CENPES (1991).....	98

Tabela 31: Resumo do desempenho dos ônibus da CCTC (1997), da Viação Santa Madalena (1997 e 1998) do CENPES (1991) .....	98
Tabela 32: Resumo do desempenho energético do ônibus Dual Fuel – empresa TRELL (Duque de Caxias).....	101
Tabela 33: Preço da tecnologia Dual Fuel.....	103
<b>CAPÍTULO 5 – TECNOLOGIA DE OTTOLISAÇÃO</b>	
Tabela 34: Custo da conversão – Ottolisação.....	111
<b>CAPITULO 6 – MOTORES DIESEL MODERNOS</b>	
Tabela 35: Complexidade dos sistemas de pós-tratamento dos gases para atendimento dos padrões EUROW .....	129
Tabela 36: Custo dos dispositivos de pós-tratamento dos gases .....	130
<b>CAPÍTULO 7 – SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE GÁS NATURAL</b>	
Tabela 37: Relação de capacidade volumétrica e peso entre cilindros leves e pesados para armazenamento de gás natural veicular.....	148
Tabela 38: Estação de compressão - 1000 m3 / hora .....	149
Tabela 39: Estação de compressão – Abastecimento lento (6 horas) - frota de 70 veículos. ....	150
Tabela 40: Estação de compressão – Abastecimento rápido (4 minutos). Frota de 70 veículos em três horas. ....	151
Tabela 41: Gás Natural Serviços – CEG .....	152
<b>CAPÍTULO 8 - CENÁRIOS DE VIABILIDADE ECONÔMICA</b>	
Tabela 42: Variáveis e premissas para a analise de viabilidade .....	154
Tabela 43: Custo de manutenção para as diferentes rotas tecnológicas apresentadas.....	156
Tabela 44: Descrição dos parâmetros a serem consideradas para as análises do primeiro cenário de viabilidade econômica – 1 veículo apenas. ....	158

Tabela 45: Descrição dos parâmetros a serem consideradas para as análises do primeiro cenário de viabilidade econômica – 1 veículo apenas.....	159
Tabela 46: Conta de óleo diesel de 1 veículo a diesel convencional (R\$/dia).....	160
Tabela 47: Receita líquida na vida útil de 1 veículo movido a gás natural.....	160
Tabela 48: Conta de óleo diesel, em valor presente, de 1 veículo a diesel convencional (R\$/dia).....	161
Tabela 49: Receita líquida, em valor presente, na vida útil de 1 veículo movido a gás natural.....	162
Tabela 50: Receita Líquida na vida útil de 1 veículo movido a gás natural.....	163
Tabela 51: Receita Líquida, em valor presente, na vida útil de um veículo movido a gás natural.....	164
Tabela 52: Receita Líquida, em valor presente, na vida útil de um veículo movido a gás natural.....	166
Tabela 53: Conta de óleo diesel de um veículo a diesel convencional (R\$/dia).....	172
Tabela 54: Receita Líquida, em valor presente, na vida útil da frota movida a gás natural adquirida nos 4 primeiros anos de operação.....	173
Tabela 55: Receita Líquida, em valor presente, na vida útil da frota movida a gás natural adquirida nos dois primeiros anos de operação.....	175
Tabela 56: Receita Líquida, em valor presente, na vida útil da frota movida a gás natural adquirida nos primeiros 4 anos de operação.....	177
Tabela 57: Receita Líquida, em valor presente, na vida útil da frota movida a gás natural adquirida nos primeiros 2 anos de operação.....	178
Tabela 58: Receita Líquida, em valor presente, na vida útil da frota movida a gás natural adquirida nos primeiros 4 anos de operação.....	180

Tabela 59: Lucro líquido, em valor presente, na vida útil da frota movida a gás natural adquirida nos primeiros 2 anos de operação.....	181
Tabela 60: Receita Líquida, em valor presente, na vida útil da frota movida a gás natural adquirida nos primeiros 4 anos de operação.....	183
Tabela 61: Lucro líquido, em valor presente, na vida útil da frota movida a gás natural adquirida nos primeiros 2 anos de operação.....	184
Tabela 62: Tabela dos níveis de sensibilidade das principais variáveis de influência para a economicidade dos veículos Dual Fuel. ....	187
Tabela 63: Variáveis diretamente proporcionais à Receita Líquida – VP e variáveis mais importantes do ponto de vista da sensibilidade – Dual Fuel. ....	188
Tabela 64: Tabela dos níveis de sensibilidade das principais variáveis de influência para a economicidade dos veículos Ottolisados.....	189
Tabela 65: Variáveis diretamente proporcionais à Receita Líquida – VP e variáveis mais importantes do ponto de vista da sensibilidade – Ottolisação. ....	191
Tabela 66: Tabela dos níveis de sensibilidade das principais variáveis de influência para a economicidade dos veículos Dedicados. ....	192
Tabela 67: Variáveis diretamente proporcionais à Receita Líquida – VP e variáveis mais importantes do ponto de vista da sensibilidade – Ottolisação. ....	193
Tabela 68: Tabela dos níveis de sensibilidade da variável preço final do gás natural para a economicidade das três possibilidades de tecnologias veiculares. ....	194
Tabela 69: Receita Líquida zero e inclinação da curva para uma frota de veículos movidos a gás.....	196
Tabela 70: Receita líquida zero e inclinação da curva para uma frota de veículos movidos a gás natural.....	200

Tabela 71: Receita Líquida, em valor presente, na vida útil da frota Dedicada movida a gás natural adquirida nos primeiros 2 anos de operação, comparada com os veículos diesel modernos.....	203
Tabela 72: Receita Líquida, em valor presente, na vida útil da frota Dedicada movida a gás natural adquirida nos primeiros 2 anos de operação, comparada com os veículos diesel modernos.....	208
Tabela 73: Tabela dos níveis de sensibilidade das principais variáveis de influência para a economicidade dos veículos Dedicados, em comparação com veículos diesel modernos.....	210
Tabela 74: Variáveis diretamente proporcionais à Receita Líquida – VP e variáveis mais importantes do ponto de vista da sensibilidade – Veículos Dedicados comparados com veículos diesel modernos .....	212
<b>ANEXOS – I, II, III E IV</b>	
Tabela 75: Insumos tarifários .....	249
Tabela 76 : Composição da tarifa intermunicipal – Rio de Janeiro.....	253
Tabela 77: Evolução do preço do óleo diesel e do gás natural no mercado varejista.....	262

## SIGLAS

CH <sub>4</sub>	Gás Metano
CO	Monóxido de Carbono
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono – Gás Carbônico
MP	Material Marticulado
NO <sub>x</sub>	Óxidos de Nitrogênio
PAH	Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos
PROCONVE	Programa Nacional de Controle de Emissões Veiculares
SO <sub>x</sub>	Óxidos de Enxofre
ANP	Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
BR	Petrobras BR Distribuidora
CADES	Conselho de Meio Ambiente e Desenvolvimento da Prefeitura de São Paulo
CCTC	Cooperativa Comunitária de Transportes Coletivos
CEG	Companhia Distribuidora de Gás do Rio de Janeiro
CMTC	Companhia Municipal de Transporte Coletivo – São Paulo
CONPET	Programa Nacional de Racionalização do Uso de Derivados de Petróleo e Gás Natural
CTC	Companhia de Transporte Coletivo do Estado do Rio de Janeiro
CUMMINS	Fábrica de Motores
EBTU	Empresa Brasileira de Transportes Urbanos
ECO – 92	Conferencia Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento – Rio de Janeiro em 1992
FEEMA	Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente
FETRANSPOR	Federação das Empresas de Transportes de Passageiros do Estado do Rio de Janeiro
FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos
GNC	Gás Natural Comprimido
GNL	Gás Natural Liquefeito
GNV	Gás Natural Veicular

IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
MBB	Mercedes Benz do Brasil
N <sub>2</sub>	Gás Nitrogênio
PAC	Plano de Alteração de Combustível
PLAN GAS	Plano Nacional do Gás Natural
RIO ÔNIBUS	Sindicato das Empresas de Ônibus do Estado do Rio de Janeiro
SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SPTRANS	São Paulo Transporte S.A
THERM	Unidade de medida energética comercial para venda do gás natural nos EUA
UPGN	Unidade de Processamento de Gás Natural
VW	Volkswagen
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CNP	Conselho Nacional do Petróleo
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CWI	CUMMINS WESTPORT INTERNATIONAL
ECE	Ciclo de ensaio de homologação de emissões poluentes de veículos
ELR	Ciclo de ensaio de homologação de emissões poluentes de veículos
ESC	Ciclo de ensaio de homologação de emissões poluentes de veículos
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
NBR	Norma Técnica Brasileira
OEM	Original Equipment Manufacturer
SCR	Redutor Catalítico Seletivo
SOUL	Empresa operadora de ônibus da cidade de Porto Alegre – Projeto GASBUS
SULGAS	Companhia de Gás do Estado do Rio Grande do Sul

TBG	Transportadora Brasileira Gasoduto Bolívia-Brasil
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
DOC	Diesel Oxidation Catalysts
DPF	Diesel Particulate Filter
EGR	Sistema de recirculação dos gases do escapamento
PLD	PUMPE-LEITUNG-DUSE
VP	Valor Presente
IANGV	International Association for Natural Gás Vehicles

## CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

A utilização do gás natural no Brasil tem sido estimulada através de políticas públicas locais continuadas<sup>1</sup> o que permitiu ao país alcançar a segunda maior frota de veículos movidos a gás natural veicular do mundo<sup>2</sup> (IBP, 2006; BONELLO, 2002). Entretanto, o crescente e aparente sucesso deste novo mercado tem se restringido à utilização do gás natural para veículos leves<sup>3</sup>.

Cabe aqui uma colocação sobre as diferenças entre a utilização do gás natural veicular em veículos pesados, geralmente movidos por motores do ciclo Diesel, com veículos leves movidos com motores do ciclo Otto. Barreiras reais têm impedido o uso de gás natural em veículos movidos a óleo diesel no Brasil, barreiras essas que deverão ser discutidas em todos os capítulos apresentados nesta dissertação.

Muitas experiências e esforços já foram realizados para a inserção do gás natural veicular em operações de transporte com coletivos urbanos no país. Num breve histórico pode-se estimar um número superior a 500 ônibus que rodaram nas ruas das principais capitais brasileiras movidos pelo combustível gás natural<sup>4</sup> (BALASSIANO, 1991; BALASSIANO, 1997; LASTRES, 1987; LASTRES, 1988; LASTRES, 1991; D'AVIGNON, 1993; SANTOS, 2003; NTU, 2004; FETRANSPOR, 2006; URBES, 2006; SPTRANS, 2005; FILHO, 2006).

Alguns fortes apelos têm buscado justificar a importância do uso do gás natural veicular em ônibus urbanos nas grandes cidades e metrópoles brasileiras. O mais forte, e recente deles, vem alicerçado no paradigma do melhor desempenho ambiental dos veículos movidos a gás natural<sup>5</sup> (BALDASSARI, 2005; PELKMANS, 2001; KOENDERS, 1996; HAO et al., 2006; ZHOU, 2006; TZENG et al., 2005; RABL, 2002;

---

<sup>1</sup> Vide Anexo I - Legislações sobre gás natural veicular.

<sup>2</sup> Em junho de 2006 a frota de veículos leves convertidos para o uso de gás natural veicular chegou a 1.179.443, e os números de postos de abastecimento alcançou a marca de 1273 (IBP, 2006).

<sup>3</sup> Veículos fabricados originalmente para funcionamento com gasolina, ou álcool, em ciclo Otto.

<sup>4</sup> A relação destas experiências, cidades e períodos de experimentação estão relatados no capítulo 2 desta dissertação intitulado *Contextualização e Experiências Existentes*.

<sup>5</sup> O gás natural é uma mistura de hidrocarbonetos leves que, em condições normais de pressão e temperatura, permanece no estado gasoso. Em geral, o gás natural compõe-se, principalmente, de metano, etano, propano e menores proporções de outros hidrocarbonetos de maior peso molecular. Normalmente, o gás natural apresenta baixos teores de impurezas como nitrogênio (N<sub>2</sub>), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e compostos de enxofre. Além disso, as regulamentações de governo também estabelecem que o gás deverá estar sempre livre de poeira, água condensada, gomas, elementos formadores de goma e outros elementos sólidos ou líquidos que possam prejudicar a operação dos sistemas de transporte, distribuição ou utilização dos gás pelos consumidores (SANTOS, 2002).

RIBEIRO, 2001A; OLIVEIRA, 1997). Todavia, sem refutar totalmente o paradigma citado, estudos apontam para uma relativa vantagem ambiental de combustíveis considerados como ambientalmente mais limpos<sup>6</sup> (DONDERO, 2005; ASLAM, 2005).

Veículos leves do ciclo Otto tendem a emitir, potencialmente, como poluentes, mais CO e HCT<sup>7</sup> (OLIVEIRA, 1997; SALA, 1999), sendo que os veículos a diesel tendem a emitir mais NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, MP<sup>8</sup> e PAH's<sup>9</sup> (LIN, 2006; FILHO, 2006; SALA, 1999; OLIVEIRA, 1997). Conforme estudos internacionais vêm comprovando são justamente os tipos de emissões características do óleo diesel que têm apresentando maior impacto ambiental, principalmente quando a externalidade considerada é sobre a saúde humana<sup>10</sup>. Estudos comprovam o potencial cancerígeno dos poluentes relacionados às emissões da combustão de diesel (SALDIVA et al, 2005; POPE, 2002; COHEN et al., 2004; CHUNG, 2006; TAVARES et al., 2004; ABRANTES et al., 2003; TOMATIS, 1990; HEMMINK et al., 1994; OLIVEIRA, 1997). Estudos epidemiológicos apontam a concentração de MP como estando diretamente associada à mortalidade por doenças cárdio-respiratórias em diferentes cidades ao redor do mundo<sup>11</sup> (BALDASSARI, 2005; DOCKERY et al., 1993; TORNQVIST et al., 1994; NYBERG et al., 2000; ROEMER, 2001).

---

<sup>6</sup> Tão importante quanto o combustível utilizado para a queima em motores de combustão interna é também o nível tecnológico dos motores. As emissões são função direta destes dois aspectos. Por existirem vários tipos distintos de poluentes emitidos pelo escapamento de veículos com motores de combustão interna é importante a observação dos potenciais de redução de cada um dos mesmos. Muitas vezes o gás natural, em substituição à gasolina, por exemplo, pode reduzir a emissão de alguns tipos de poluentes, porém elevar a emissão de outros tipos. A vantagem ambiental do gás natural precisa ser observada com cuidado, também, quando o tema for gás natural em substituição ao óleo diesel no transporte público de passageiros (SHAKOUR, 2003; ASLAM, 2005; DONDERO, 2005; KATO, 2001; YANG, 1997; BAKER, 2006). Os combustíveis líquidos vêm apresentando ganhos significativos de qualidade nos últimos anos, e as tecnologias de motores também. As distâncias entre o desempenho ambiental dos motores a gás natural e os motores movidos por combustíveis líquidos têm sido diminuídas. No caso dos motores do ciclo diesel está previsto para 2009 a necessidade de inserção de dispositivos de pós-tratamento dos gases, os quais deverão começar a dar ao motor diesel níveis de emissão semelhantes aos dos motores a gás natural dedicados. Vide capítulo 6 desta dissertação.

<sup>7</sup> Monóxido de Carbono e Hidrocarbonetos totais, por unidade de energia gerada.

<sup>8</sup> Material Particulado – podem ser divididos em particulados totais e particulados inaláveis (PM10)

<sup>9</sup> Hidrocarbonetos Policíclicos e Aromáticos. Estes poluentes não estão regulamentados no Brasil e no mundo. São extremamente tóxicos e possuem potencial para causar câncer. Para conceito vide Tavares et al. (2004)

<sup>10</sup> Destaca-se aqui o contexto de motores do ciclo diesel convencionais e de óleo diesel também convencional (acima de 500 ppm de enxofre). Existem modelos de motores do ciclo diesel modernos, os quais possuem gerenciamento eletrônico e sistemas de pós-tratamento dos gases, que podem alcançar elevados índices de desempenho ambiental de suas emissões (EURO IV e EUROW). O que precisa ser comparado é o custo-efetividade destas diferentes possibilidades. A empresa CUMMINS WESTPORT avalia que a entrada compulsória de modernos ônibus do ciclo diesel deverá trazer a viabilidade econômica que falta para os ônibus a gás natural, uma vez que os dispositivos de pós-tratamento dos gases dos novos motores diesel serão mais complexos e trarão elevação do preço final da tecnologia a ser disponibilizada (CUMMINS, 2005). Vide capítulo 6 desta dissertação.

<sup>11</sup> O pior tipo de material particulado são os finos e ultra-finos (menores que 2  $\mu\text{m}$ ). Os particulados gerados pela queima do diesel são, em sua maioria, finos. O pior tipo de PAH's encontra-se, também, associado aos particulados, e não na forma gasosa. (SALDIVA, et al., 2005; ABRANTES et al., 2003)

Um estudo feito no Brasil demonstrou, para um período em que a frota de ônibus urbana da cidade de São Paulo esteve em greve por três dias, que os níveis de toxicidade do MP e os níveis de PAH's caíram sensivelmente<sup>12</sup> nos dias em que a frota de ônibus não esteve em operação nas ruas<sup>13</sup> (SALDIVA et al., 2005). Um estudo comparando os níveis de emissão de um ônibus a diesel convencional e um ônibus a gás natural<sup>14</sup> revelou que a redução de MP e PAH's pode chegar a 30 e 50 vezes, respectivamente, em favor do gás natural<sup>15</sup> (BALDASSARI et al., 2005). Estes e todos os argumentos que possam ter alguma conotação ambiental têm sido utilizados em defesa do uso do gás natural em substituição do diesel nos grandes centros urbanos.

Outros estudos procuram associar o potencial de redução do gás natural para com outros poluentes regulamentados pela legislação ambiental nacional; são eles: CO, SOx, NOx e MP (LINKE, 2004; FILHO, 2006). O potencial de redução de poluentes com o uso do gás natural, em substituição ao óleo diesel, deverá, sempre, ser analisado sob a ótica do estágio de desenvolvimento tecnológico dos motores e da qualidade dos combustíveis aos quais se submete a proposta de comparação, além dos sistemas e dispositivos de pós-tratamento dos gases de escapamento. Veículos a diesel para atendimento das normas EURO V, com início em 2008 na Comunidade Européia, haverão de ser tão limpos quanto veículos movidos a gás natural, como discutirá o capítulo 6 desta dissertação.

Um último fator ambiental apresentado, também, em favor dos veículos a gás natural é o potencial de redução do ruído característico dos motores diesel tradicionais. Estudos comprovam reduções dos níveis de ruído com a utilização de motores do ciclo Otto movidos com gás natural<sup>16</sup> (BALASSIANO, 1997).

---

<sup>12</sup> Outro estudo realizado no Brasil também demonstrou que os níveis de PAH' no domingo são reduzidos significativamente (TAVARES et al., 2004).

<sup>13</sup> Para detalhes vide Saldiva et al. (2005)

<sup>14</sup> Motor do ciclo Otto dedicado de fábrica para operar com gás natural.

<sup>15</sup> Estudos também apresentam o gás natural com potencial para redução de PAH's e MP (COBUR et al., 1998; HAO, 2006). Outros estudos revelam que o gás natural aplicado em substituição a combustíveis líquidos, em motores de combustão interna, tem menor potencial (seus gases de emissão) de formação de ozônio (o metano tem menor potencial de formar poluentes secundários como o ozônio) (RISTOUSKI, 2003; DONDERO, 2005; HAO, 2006). Quanto à redução de gases do efeito estufa, em veículos pesados, não há vantagem significativa para o gás natural, uma vez que o desempenho energético dos veículos diesel é maior do que o dos veículos dedicados de fábrica do ciclo Otto (RIBEIRO, 2001B). Além do melhor desempenho energético dos motores diesel tem-se também uma maior emissão de metano (CH<sub>4</sub>) nos motores movidos a gás natural. O metano tem um potencial de aquecimento global 23 vezes maior do que o gás referencial (CO<sub>2</sub>) (RIBEIRO e REAL, 2006).

<sup>16</sup> Balassiano (1997) conseguiu medir reduções da ordem de 7% (em decibel)

Outro argumento em favor da utilização dos ônibus a gás<sup>17</sup> apóia-se na busca por auto-suficiência do país para o derivado de petróleo óleo diesel. No ano de 2004 houve a importação de diesel da ordem de 15%<sup>18</sup> (BEN, 2005). Os elevados e crescentes índices de consumo de óleo diesel no país contribuem para as importações de petróleo leve o qual passa a ser misturado ao petróleo brasileiro (FILHO, 2006; NTU, 2004). O objetivo desse procedimento é, também, a elevação da produção nacional de diesel, nas refinarias brasileiras<sup>19</sup>. No Brasil, a taxa de crescimento anual do consumo de óleo diesel pelo transporte rodoviário tem sido de 6%, nos últimos 30 anos (FILHO, 2006).

A diminuição do consumo de óleo diesel através do uso do gás natural veicular nas frotas cativas do transporte público de passageiros poderia contribuir para amenizar as pressões existentes sobre disponibilidade de óleo diesel e importações de petróleo no país. Estima-se que a frota de todos os ônibus urbanos das cidades brasileiras consuma o equivalente a 8% de toda a demanda de diesel no Brasil (NTU, 2004).

Somando-se aos itens anteriores apresenta-se, também, o forte apelo creditado em favor do uso do gás natural, em substituição ao diesel, como possível impulsionador do processo de barateamento das tarifas de transporte público urbano. Sabe-se que o óleo diesel corresponde, em 2006, a mais de 25% do custo total do serviço de transporte expresso através da tarifa unitária (preço do vale-transporte) (FETRANSPO, 2006). A escalada do preço do óleo diesel nos últimos 6 anos fez com que o preço do combustível tenha se elevado em 150%, em comparação aos valores praticados no ano 2000<sup>20</sup> (ANP, 2005A). A disponibilização de um combustível mais barato, associado a uma tecnologia para operação adequada, poderia permitir uma redução significativa da tarifa de transporte, favorecendo assim diretamente os

---

<sup>17</sup> A definição de ônibus a gás é mais ampla. Entende-se como ônibus a gás aqueles movidos com gás natural, gás liquefeito de petróleo (GLP) e biogás.

<sup>18</sup> Além do diesel consumido de origem importada é importante destacar que: parte do diesel nacional ainda é produzido com petróleo de origem importada (petróleo leve). Entende-se, assim, que o consumo nacional de diesel, em 2004, de origem importada, tenha sido superior a 15%. Segundo o BEN de 2005, 12% de todo o petróleo refinado nacionalmente era de origem importada (BEN, 2005). Todavia, é importante perceber que a dependência nacional por petróleo importado vem sendo, cada vez mais, direcionada à produção de óleos lubrificante, produzidos pela Refinaria de Duque de Caxias – REDUC. A maior parte do petróleo de origem importada tem sido direcionada à produção de óleos lubrificantes e não de combustíveis (SZKLO, 2005).

<sup>19</sup> A média do rendimento do barril de petróleo para a produção de óleo diesel, nas refinarias brasileiras, é de 38% (BEN, 2005). Esse valor seria menor se não fosse adicionado ao petróleo pesado nacional o petróleo leve de origem estrangeira (mais caro que a maior parte dos diferentes tipos de petróleo produzidos em território nacional).

<sup>20</sup> Vide em Anexo IV

milhões de indivíduos dependentes do transporte público urbano dos grandes centros (NTU, 2004).

O potencial de redução da tarifa de transporte pela inserção de ônibus a gás nas cidades brasileiras não será apresentado e discutido neste trabalho, todavia, para os interessados no tema, segue no Anexo II um resumo da planilha de cálculo tarifária, bem como a discriminação das parcelas representativas do custo tarifário do transporte intermunicipal da região metropolitana do Rio de Janeiro.

Buscando associação com os três principais fatores apresentados no texto acima, os quais buscam justificar o uso do gás natural em transporte coletivo urbano, serão trabalhados nesta dissertação os mais relevantes aspectos técnicos, econômicos e ambientais que possam relacionar-se, de alguma maneira, com a inserção do gás natural veicular no transporte público de passageiros. Será considerada a região metropolitana do Rio de Janeiro como área referencial para o dimensionamento, modelagem e especificação dos parâmetros e premissas necessários às avaliações de viabilidade econômica dos ônibus a gás natural.

## **1.1 - A estrutura da dissertação**

### **1.1.1 - O Problema**

As barreiras relacionadas à entrada do gás natural no transporte coletivo urbanos por ônibus apresentam-se de forma bastante diversificada. Existem barreiras associadas à cadeia tecnológica do gás natural<sup>21</sup>, como: tecnologia veicular, tecnologia de abastecimento dos veículos nas garagens (infra-estrutura de compressão), tecnologia de armazenamento do gás dentro dos veículos. Outras barreiras são culturais, como a percepção dos operadores de transporte quanto à robustez, rendimento energético e confiabilidade dos motores a diesel convencionais, sempre presentes na utilização desta tecnologia para transporte público de passageiros.

As barreiras estendem-se, também, aos riscos associados ao processo de inovação tecnológica, por parte dos operadores de transporte. Por não haver uma política clara e coordenada para substituição do óleo diesel por um combustível alternativo, no caso o gás natural, ficam as empresas de transporte receosas de investirem capital próprio na conversão de suas frotas.

O operador de transporte por ônibus, no Brasil, recebe do poder público a concessão de não apenas operar os serviços de transporte público de passageiros, mas de, também, prover por meios próprios todos os recursos financeiros para a operação de tais serviços. O poder público regulamenta todo o serviço, porém não participa com recursos públicos para a inovação tecnológica dos serviços prestados. As empresas operadoras não têm percebido, ainda, as vantagens econômicas do uso do gás natural como combustível substituto do óleo diesel em suas frotas. A identificação dos aspectos econômicos relacionados ao uso do gás natural será um dos focos deste trabalho os quais deverão servir de subsídios, também, para os operadores de transporte público por ônibus do país.

Sendo assim, do ponto de vista do empresário operador, fica claro que a motivação principal reside no retorno econômico que pode ser obtido com a utilização de um combustível alternativo ao diesel. Esta é uma barreira que precisa ser

---

<sup>21</sup> Algumas das barreiras tecnológicas estão associadas a sobre-custo do capital necessário ao investimento, como é o caso da infra-estrutura para compressão do gás natural dentro das garagens. Outras barreiras tecnológicas dizem respeito ao próprio nível tecnológico do produto disponibilizado. Este seria o caso das possíveis rotas tecnológicas veiculares disponíveis comercialmente no mercado.

transposta, a saber: a viabilidade econômica do uso do gás em substituição ao óleo diesel. Do ponto de vista do interesse público, os aspectos relacionados ao melhor desempenho ambiental dos veículos a gás natural, comparados com os veículos diesel convencionais, seriam aqueles que justificariam, de forma mais latente, a substituição do diesel por gás natural nos grandes centros urbanos do país.

O problema está exatamente em fazer convergir os interesses do operador de transporte, empresários, os interesses da sociedade e usuários do transporte público. Se a priorização pela melhor qualidade do ar transformar-se em uma política pública definida, em favor do uso do gás natural, poder-se-ia buscar a diminuição das possíveis barreiras técnicas e econômicas associadas ao uso do gás natural em ônibus no país, distribuindo-se, assim, os riscos e custos do processo de inovação entre operadores e sociedade, representada esta última pelo governo em suas esferas de atuação<sup>22</sup>.

A identificação e avaliação das possíveis barreiras existentes à entrada do gás natural veicular para a operação de ônibus urbanos no país serão úteis àqueles que desejem estudar e promover a substituição do óleo diesel no transporte público de passageiros por ônibus nas grandes cidades brasileiras.

---

<sup>22</sup> Inúmeros autores têm creditado ao poder público a responsabilidade por promover, através de políticas públicas incentivadoras e continuadas, o uso do gás natural em ônibus do transporte público urbano de passageiros (RIBEIRO, 2001A; RIBEIRO, 2001B; AHOUISSOUSSI, 1997; HAO, 2006; MACHADO, 1996; GUEDES; 1996; SOUZA, 2001; MACHADO, 2005A; MACHADO, 2005B; MACHADO, 2004B; LASTRES, 2004; TEIXEIRA, 2001; JUNIOR, 2005).

### **1.1.2 - O Objetivo**

O objetivo principal deste trabalho é a qualificação e quantificação das barreiras existentes à entrada do gás natural como combustível alternativo ao óleo diesel no transporte público de passageiros por ônibus. A apresentação dos principais aspectos tecnológicos e de legislação visa a contextualização quanto à real evolução já alcançada em favor do uso do gás natural em coletivos urbanos no país. A avaliação da viabilidade econômica, a ser realizada em capítulo final desta dissertação, objetivará a qualificação e quantificação, através de análise de sensibilidade, de todas as variáveis técnicas e tecnológicas que possuam alguma relação com a economicidade do uso do gás natural veicular em comparação com a tecnologia diesel convencional. Avaliações e cenários de viabilidade econômica para os veículos do ciclo diesel modernos (veículos com gerenciamento eletrônico e sistemas de pós-tratamento dos gases) também serão considerados.

Toda a avaliação de viabilidade econômica da inserção do gás natural em ônibus deverá contemplar e quantificar a economicidade das três rotas tecnológicas existentes para o uso do gás natural veicular, a saber: ônibus Dedicados de fábrica, ônibus convertido com tecnologia Dual Fuel e ônibus convertido com tecnologia de Ottolisação.

### **1.1.3 - A organização da dissertação**

Esta dissertação está distribuída por 9 capítulos. Os 9 capítulos estarão agrupados em quatro níveis distintos. Os dois primeiros têm caráter introdutório, sendo o primeiro a própria introdução desta dissertação. Os cinco capítulos seguintes terão conteúdos tecnológicos, abordando também aspectos técnicos e ambientais das tecnologias. O capítulo 8 abordará o contexto exclusivamente econômico de análise de viabilidade das tecnologias de GNV. E o capítulo 9 consolidará as conclusões desta dissertação.

O capítulo 2 deste trabalho introduz e contextualiza o leitor quanto as primeiras e mais importantes experiências já realizadas com ônibus a gás natural no Brasil. Algumas experiências internacionais são citadas. A contextualização destas experiências será seguida dos aspectos legais e de regulamentação do uso do gás natural em substituição ao óleo diesel convencional no Brasil, a recente experiência da cidade de São Paulo com o uso de ônibus a gás natural e o aprendizado relacionado, também, aos aspectos legais de sua implantação, e fracasso, serão apresentados de forma mais detalhada neste capítulo introdutório da dissertação.

O capítulo 3 (TECNOLOGIA DEDICADA AO USO DO GÁS NATURAL) iniciará a série de capítulos destinados aos aspectos técnicos e tecnológicos do uso do gás natural veicular no transporte coletivo urbano de passageiros. O objetivo de se apresentar com detalhes os aspectos tecnológicos visa o desenvolvimento de uma percepção mais realista das reais barreiras, dificuldades e diferenças existentes entre a utilização de veículos do ciclo Diesel convencionais e veículos operados com o gás natural veicular. O capítulo 3, destinado a apresentar os conceitos e realidades da tecnologia dedicada de fábrica para o uso do gás natural, possibilitará a compreensão das dificuldades já encontradas no Brasil, até 2006, com a utilização desta tecnologia. O aprendizado obtido com o uso desta tecnologia será analisado com o objetivo de sinalizar e orientar estratégias futuras para a utilização de veículos projetados de fábrica para o funcionamento exclusivo com o gás natural veicular.

O capítulo 4 (TECNOLOGIA DUAL FUEL) irá apresentar com detalhes os conceitos e principais experiências associados ao processo de conversão de veículos diesel para a operação com utilização de óleo diesel e gás natural, simultaneamente. A tecnologia Dual Fuel permite ao operador de transporte converter seu ônibus diesel usado para o uso de gás natural. As vantagens deste tipo de rota tecnológica vêm

apresentando-se de forma atrativa aos empresários de transporte. A intervenção realizada no veículo pode ser considerada como relativamente pequena, possibilitando ao empresário a revenda posterior de seus veículos. Há a flexibilidade de operação dos veículos convertidos, também, para a operação com diesel puro o que diminui o risco associado a crises de abastecimento de gás natural veicular e ao preço final do gás natural, porventura não competitivo em relação ao diesel convencional.

O capítulo 5 (TECNOLOGIA DE OTTOLISAÇÃO), de maneira bastante similar aos capítulos anteriores, fará a exposição desta última rota tecnológica de uso do gás natural em ônibus a ser considerada. A Ottolisação também pode ser considerada como uma rota tecnológica de conversão, onde o motor do ciclo diesel de um veículo é convertido para um motor do ciclo Otto, dedicado, também, para o funcionamento exclusivo com gás natural. A mais recente experiência com esta rota tecnológica encontra-se em operação na cidade de Porto Alegre. Seus resultados, vantagens e desvantagens serão discutidos neste trabalho e os principais indicadores de consumo e desempenho desta experiência usados como referência nos cenários de viabilidade econômica a serem testados no capítulo final.

O capítulo 6 (MOTORES DIESEL MODERNOS) deverá abordar os aspectos de inovação tecnológica alcançados pelos motores diesel modernos. De forma resumida serão apresentados os conceitos sobre motores diesel controlados eletronicamente e dispositivos de pós-tratamento dos gases de exaustão. A evolução que vem sofrendo o motor diesel e a melhoria da qualidade dos combustíveis líquidos deverão diminuir as diferenças, em termos de desempenho ambiental, entre o ônibus a gás natural e o ônibus diesel moderno. O capítulo final deste trabalho deverá avaliar a viabilidade econômica do uso do gás natural em ônibus, também, em comparação aos novos e modernos ônibus a diesel<sup>23</sup>.

O capítulo 7 (SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE GÁS NATURAL) apresenta os conceitos de sistemas de armazenamento e abastecimento de gás natural para uso em coletivos urbanos. São apresentadas as tecnologias disponíveis para as operações citadas, bem como os custos associados à utilização das mesmas.

---

<sup>23</sup> Os veículos diesel controlados eletronicamente já vêm sendo comercializados no Brasil desde 1998. Em 2006, 100% das vendas de ônibus urbanos já é com gerenciamento eletrônico. Os veículos diesel com dispositivos de pós-tratamento dos gases haverão de estar sendo introduzidos a partir de 2009, com a entrada da fase mais restritiva de controle de emissões veiculares de veículos pesados do Brasil – PROCONVE VI.

O capítulo 8 (CENÁRIOS DE VIABILIDADE ECONÔMICA), a partir de todos os capítulos anteriormente apresentados, realiza as avaliações de viabilidade econômica, em diferentes condições de contorno propostas. As variáveis de influência direta na economicidade do uso do gás natural, em cada uma das três rotas tecnológicas apresentadas, são testadas em análises de sensibilidade.

Ainda no capítulo de cenários de viabilidade econômica, são avaliados, também, cenários construídos com condições especiais para os veículos Dedicados de fábrica operando com o uso com gás natural veicular. A primeira parte do capítulo de cenários econômicos apresentou a tecnologia Dedicada como sendo pouco atrativa, sob ponto de vista econômico. Os cenários de condições especiais irão propor condições futuras de viabilização desta rota tecnológica. As condições especiais irão apresentar pequenas alterações nas condições de contorno do modelo de viabilidade econômica da rota Dedicada, as quais já serão suficientes para garantir a competitividade econômica à rota Dedicada ao uso do gás natural veicular.

Será criado um cenário especial para a rota tecnologia Dedicada comparando-a com ônibus modernos do ciclo diesel os quais deverão passar a entrar em operação no Brasil a partir de 2009. A economicidade dos ônibus a gás natural Dedicados cresce bastante quando se compara o desempenho econômico destes com veículos modernos do ciclo diesel equipados com sistemas de pós-tratamento dos gases.

Os resultados obtidos no capítulo de cenários econômicos estão sintetizados no capítulo final de conclusões. O capítulo final também apresenta as recomendações para estudos futuros.

## CAPÍTULO 2 – CONTEXTUALIZAÇÃO E EXPERIÊNCIAS EXISTENTES

Este capítulo está dedicado à apresentação de algumas das mais importantes experiências nacionais com o uso do gás natural para aplicação em veículos do transporte coletivo urbano de passageiros. Algumas experiências internacionais também serão brevemente comentadas, principalmente sob o ponto de vista das primeiras iniciativas realizadas nestes países. O objetivo deste resumo histórico é situar o leitor quanto aos números e tipos de experimentações já realizados com o ônibus a gás.

Uma segunda parte distinta neste capítulo refere-se à apresentação de breve histórico sobre os aspectos legais e de regulamentação relacionados ao uso do gás natural, em substituição ao diesel. A maior parte dos aspectos legais abordados refere-se às questões ambientais (emissão de gases poluentes).

Faz-se uma observação importante, nesta abertura inicial do capítulo, sobre a pequena associação existente entre o histórico de experiências e o histórico de aspectos legais e de regulamentação do uso do gás natural em ônibus urbanos. Apesar da pouca correlação a ser feita sobre os dois temas que serão abordados, decidiu-se pela unificação dos mesmos, neste capítulo introdutório da dissertação, por tratarem, ambos, da contextualização sobre o tema central proposto, a saber: a viabilidade do uso do gás natural em ônibus no Brasil.

### **2.1 – Histórico de experiências com a utilização do gás natural em ônibus.**

Ao longo dos anos 80 e 90, várias iniciativas de implementação de ônibus a gás foram desenvolvidas em importantes cidades brasileiras como Natal, Recife, Aracaju, Fortaleza, Salvador, São Paulo e Rio de Janeiro (BALASSIANO, 1991; BALASSIANO, 1997; LASTRES, 1987; LASTRES, 1988; LASTRES, 1991; D'AVIGNON, 1993; SANTOS, 2003; NTU, 2004; CONCEIÇÃO, 2005; URBES, 2006; SPTRANS, 2002; SPTRANS, 2005; FILHO, 2006).

Tabela 1: Algumas das principais experiências com ônibus a gás no Brasil

<b>Cidade</b>	<b>Frota</b>	<b>Período de Operação</b>
Aracaju	25	1985 a 1992
Fortaleza	6	1991 a ...
Natal	47	1984 a 1990
Recife	62	1986 a 2000
Salvador	10	1985 a 1990
Rio de Janeiro (Dual Fuel)	27	1985 a 1991
Rio de Janeiro (CTC)	150	1992 a 1996
Rio de Janeiro (TRANSURB)	1	2002 a ...
Rio de Janeiro (RUBANIL)	1	2004 a ...
Rio de Janeiro (TREL)	1	2006 a ...
Rio de Janeiro (REAL)	1	2005 a ...
Curitiba	7	2002 a ...
Sorocaba (Dedicado e Ottalização)	6	2006 a ...
São Paulo (Dual Fuel)	10	1983 a 1985
São Paulo (Dual Fuel e Dedicados)	8	1989 a 1991
São Paulo (CMTC e Jaraguá – 1º geração MBB)	130	1991 a 1998
São Paulo (CMTC, Jaraguá, Gatusa e Santa Madalena – 1º e 2º gerações MBB)	250	1998 a ... 2005

Fonte: (BALASSIANO, 1991; BALASSIANO, 1997; LASTRES, 1987; LASTRES, 1988; LASTRES, 1991; D'AVIGNON, 1993; SANTOS, 2003; NTU, 2004; CONCEIÇÃO, 2005; URBES, 2006; SPTRANS, 2002; SPTRANS, 2005; FILHO, 2006).

A experiência de São Paulo será apresentada de forma ampla neste trabalho por ter sido, principalmente, uma experiência recente e de maior magnitude de implementação. Os dados relativos a esta experiência encontram-se bem mais organizados e a realidade dos problemas vivenciados pela experiência paulista podem, ainda, sinalizar o melhor caminho para futuras e acertadas decisões no que se refere ao uso do GNV no transporte coletivo urbano de passageiros<sup>24</sup>.

<sup>24</sup> Através da avaliação da experiência de São Paulo fez-se a identificação dos pontos mais relevantes referentes à possibilidade de novas propostas do uso do gás natural no transporte público em grandes cidades. O objetivo da experiência de São Paulo é apresentar o quanto um empreendimento complexo, considerado interessante e desafiador pelos agentes envolvidos, pôde se tornar insustentável devido à perda de capacidade de articulação, ou mesmo a partir de enganos cometidos na implementação de políticas e estratégias empresariais equivocadas. Em quaisquer novas experiências futuras, alguns equívocos deverão ser evitados, pois, no passado, contribuíram significativamente para inibir e inviabilizar o avanço do ônibus a gás. A experiência de São Paulo será apresentada e discutida neste capítulo em subtítulo posterior.

Em 1987, o governo federal aprovou em 1987 o Plano Nacional do Gás Natural – PLANGAS (BRASIL, 1987). Desde de então o uso do gás natural como substituto do diesel vem sendo estimulado e pretendido por iniciativa de empresa de transporte e governos. A Mercedes Benz do Brasil (MBB) resolveu manter suas apostas tecnológicas, esperando que o mercado poderia vir a evoluir no futuro<sup>25</sup>. Somando-se a isso, a consciência ambiental já passava a se tornar um elemento a mais de incentivo ao aprimoramento de tecnologias veiculares<sup>26</sup> (SANTOS, 2003). O início da década de 1980 foi um período impulsionado pela segunda crise energética de 1979, onde prevalecia a perspectiva de escassez de oferta de petróleo, e do contínuo crescimento do preço do petróleo no mercado internacional<sup>27</sup>.

Será considerado neste capítulo uma revisão do histórico das principais experiências com ônibus a gás no Brasil a partir do PLANGAS, na década de 80. As experiências mais recentes e de maior magnitude terão maior atenção e espaço para apresentação e análise neste trabalho.

### **2.1.1 – EXPERIÊNCIAS NACIONAIS COM ÔNIBUS A GÁS NATURAL**

#### **RIO DE JANEIRO**

Na Cidade do Rio de Janeiro, o convênio mais antigo para a utilização do ônibus a gás natural data de 1984 e contou com a Empresa Brasileira de Transportes Urbanos (EBTU), PETROBRAS, Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), Companhia de Transportes Coletivos do Estado do Rio de Janeiro (CTC) (BALASSIANO, 1991). Esta primeira experiência teve como uma das ações a inauguração de um posto de compressão e abastecimento na garagem da CTC. A frota inicialmente era formada por 4 veículos, crescendo em 1985 para 12 veículos e chegando em 1986 com um total de 13 veículos (BALASSIANO, 1991). Desse total, 12 ônibus utilizavam a mistura diesel-gás natural (Dual Fuel) e um ônibus rodava somente

---

<sup>25</sup> A MBB iniciou suas experiências com motores pesados a gás natural já na década de 80 (MURARO, 2004)

<sup>26</sup> O PROCONVE foi criado, também, em 1987.

<sup>27</sup> Um dos motivos que levaram o Governo Federal à criação do PLANGÁS foi exatamente as consequências da elevação do preço do petróleo no mercado internacional.

a gás natural. A CTC passou a enfrentar problemas sérios para manutenção dos carros sendo o principal deles a dificuldade para se obter peças de reposição dos kits Dual Fuel da empresa Rodagás (ALMEIDA, 1991). No ano de 1990 a frota contava com 27 ônibus, sendo que 19 utilizavam a mistura diesel-gás natural, 6 eram movidos a gás natural puro e mais 2 ônibus que poderiam rodar ou a gás natural puro ou à álcool etílico. Em 1991 com a desativação da CTC no Rio de Janeiro os veículos a gás natural saíram de operação (BALASSIANO, 1991).

Foi iniciada também, em 1985, experiência na empresa de ônibus Auto Viação Reginas que tinha, em princípio, o objetivo de demonstrar a viabilidade técnica da substituição parcial do óleo diesel através da utilização de ônibus convertidos com kit Dual Fuel. A parceria entre a empresa Reginas e a empresa Petróleo Ipiranga resultou na conversão e operação de 4 ônibus, todos trabalhando com a mistura diesel/gás natural (ALMEIDA, 1991). O projeto chegou a ter outros três veículos operados com gás natural puro. O projeto foi encerrado ainda na década de 1990 (ALMEIDA, 1991).

Logo depois, no ano de 1992, iniciou-se na cidade do Rio de Janeiro um teste com cerca de 150 ônibus movidos a gás natural veicular. Este teste tinha como finalidade verificar a viabilidade da operação deste tipo de ônibus na cidade e levantar a percepção pública das vantagens de sua utilização. Todavia, por mais uma vez, o projeto não teve continuidade e os ônibus a gás foram desativados após a realização dos testes (BALASSIANO, 1997).

Em 2002, a Companhia Distribuidora de Gás do Rio de Janeiro, CEG, e a empresa de ônibus Transurb, testaram seu primeiro ônibus a gás natural. O ônibus circulou de forma experimental na linha 410, Pça. Saens Pena / Gávea. A CEG e a Transurb ficaram de acompanhar, juntas com a FEEMA, os indicadores de rendimento e desempenho do veículo ao compará-lo com veículos similares movidos a óleo diesel. Os resultados referentes a esse experimento não foram publicados e a tecnologia do veículo apresentou dificuldades relacionadas a constantes paradas por motivos de falhas mecânicas<sup>28</sup> (CEG, 2005).

---

<sup>28</sup> As principais falhas mecânicas de todas as gerações de motores fabricados pela montadora MERCEDEZ BENS DO BRASIL estão descritos no capítulo *Tecnologia Dedicada*.

Em 2003, através da parceria entre PETROBRAS e o Sindicato das Empresas de Ônibus da Cidade do Rio de Janeiro – RIO-ÔNIBUS, foi iniciado o Projeto PETROBRAS Ônibus a Gás, coordenado pelo CONPET – Programa Nacional de Racionalização de Derivados de Petróleo e Gás Natural. O ônibus iniciou suas atividades em 2004 na empresa RUBANIL e seus resultados têm sido observados de forma comparativa aos veículos de ciclo diesel similares (CENPES, 2005). Por ser esta uma experiência continuada, e em operação até os dias de hoje, parte dos resultados alcançados na avaliação desta tecnologia serão utilizados nesta dissertação, nos capítulos relativos às avaliações de viabilidade técnica e econômica.

A experiência mais recente no Estado do Rio de Janeiro encontra-se no município de Duque de Caxias, onde no início do ano de 2006 iniciou-se um projeto piloto dentro da empresa operadora TREL com a tecnologia Dual Fuel de conversão de motor diesel. Os resultados preliminares desta iniciativa também serão discutidos e apresentados nesta dissertação (FETRANSPO, 2006).

Outra experiência iniciada na cidade do Rio de Janeiro encontra-se em operação desde o ano de 2005 com tecnologia Dedicada. A montadora VOLKSWAGEM vem desenvolvendo um projeto experimental junto à empresa de transporte de passageiros REAL, onde um protótipo de motor a gás vem sendo testado (FETRANSPO, 2006). A fabricante de motores MWM é a responsável pelo desenvolvimento do motor. O motor ainda não está disponível comercialmente, sendo os resultados do experimento ainda não públicos para consulta e avaliação. A disponibilidade de mais um motor (outra montadora) Dedicado<sup>29</sup> para o uso do gás natural em coletivos poderá significar um aumento da competitividade e qualidade da tecnologia disponível no mercado.

## **Natal**

A cidade de Natal foi uma das pioneiras no uso de gás natural em ônibus urbanos. Assim como em outras capitais do Nordeste, como Recife, Salvador e Aracajú, já havia disponibilidade de gás natural naquela época (década de 1980). A plataforma de Guamoré, a 200 quilômetros de Natal, além de abastecer os estados do

---

<sup>29</sup> Atualmente, somente a Mercedes Bens do Brasil possui um ônibus disponível comercialmente para o mercado interno do Brasil.

Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco, ainda queimava grandes quantidades de gás natural não aproveitado (FILHO, 2006).

O programa de ônibus a gás natural em Natal, promovido pela prefeitura local e pela Petrobrás, envolveu o teste de ônibus dedicados a gás da Mercedes Benz do Brasil (MBB) e ônibus diesel-gás convertidos, chegando a ter, em 1991, a maior frota de ônibus a gás do país, com 47 veículos, correspondendo a 15% da frota urbana da cidade (VIA URBANA, 1994). A prefeitura anunciou que haveria redução de tarifa, esperada por causa da economia gerada pelo gás, mas, além de não ocorrer tal redução, os ônibus a gás tiveram desempenho insatisfatório, levando os empresários de transportes a experimentarem prejuízos financeiros (SENAI, 1992).

Na época, os chassis de ônibus a gás natural da MBB eram 50% mais caros que os similares a diesel, as peças de reposição mais caras e sua vida útil mais curta (FILHO, 2006). Foram também constatados problemas com a autonomia dos veículos, rendimento menor e custo do quilômetro rodado a gás mais caro que do ônibus a diesel, segundo relato do então presidente do sindicato dos empresários de ônibus locais.

Em 1994 os empresários de ônibus de Natal começaram a converter seus ônibus a gás para diesel. Ao tomar conhecimento das conversões, o então prefeito convocou reunião na tentativa de reverter o processo propondo redução de alíquota de imposto municipal sobre as tarifas dos ônibus a gás, mas já era tarde. A decisão dos empresários de eliminar os ônibus a gás natural era definitiva. Os últimos ônibus a gás natural de Natal foram desativados em 1995, após 12 anos de experiências, deixando como resultado mais uma imagem de fracasso da tecnologia, contribuindo para o desinteresse dos empresários em eventuais novos programas, face aos prejuízos e problemas vividos.

Uma das principais causas do fracasso da experiência de Natal pode ser atribuída à decisão de se usar o sistema de ônibus da cidade como laboratório de testes para uma tecnologia ainda não madura comercialmente, na época (FILHO, 2006). Como teste piloto de uma nova tecnologia, a quantidade de veículos deveria ter sido reduzida, e os programas deveriam ter sido estruturados de forma que o ônus da experimentação pudesse não recair apenas sobre o empresariado.

## OUTRAS CIDADES

Na cidade de Aracaju o uso dos ônibus a gás natural teve início no ano de 1985, com uma frota de 4 veículos. No ano de 1989, a frota de Aracaju chegou a 25 ônibus movidos a gás natural comprimido (BALASSIANO,1991).

Na cidade de Recife no ano de 1990 a frota de ônibus movidos a gás natural era de 14 veículos, sendo 2 movidos pela mistura diesel-gás natural e 12 a gás puro. A experiência de Recife teve início no ano de 1986 e chegou a ter 62 veículos movidos a gás natural veicular antes do final do ano 2000 (RIBEIRO, 2001A).

Já a cidade de Salvador teve sua experiência iniciada no ano de 1985, com 3 veículos movidos a diesel-gás natural e 3 a gás natural puro. No ano de 1990 a frota de Salvador chegou a 5 ônibus a gás natural puro e 5 a movidos pela mistura diesel-gás natural (BALASSIANO,1991).

### 2.1.2 - A EXPERIÊNCIA DE SÃO PAULO

Na cidade de São Paulo, as iniciativas de uso de gás natural em ônibus datam do período de 1983 a 1985, as quais conduziram à adaptação de 10 veículos para operação bi-combustível (Dual fuel) (SANTOS, 2003).

Iniciou-se em 1983 um convênio de cooperação técnica firmado entre a Companhia Municipal de Transporte Coletivo (CMT), (MBB), o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) e a Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), prevendo a utilização experimental do gás metano (biogás) extraído do lixo urbano (SANTOS, 2003).

Empresas e autoridades públicas foram reunidas em esforços coordenados, para superar importantes obstáculos tecnológicos, visando o desenvolvimento de combustíveis alternativos para motores pesados e a redução do consumo de diesel do país<sup>30</sup>.

---

<sup>30</sup> Por exemplo, a MBB lançou diferentes projetos de desenvolvimento tecnológico de motores pesados, para operar com gás, mas, também, com óleos vegetais ou com álcool etílico (motores em Ciclo Otto) (SANTOS, 2003). O que desencadeou esse processo foi a segunda crise do petróleo do final da década

Diante da inexistência de suficiente oferta de gás natural na capital paulista, estabeleceu-se que os ônibus operariam com biogás da estação compressor do aterro sanitário de Santo Amaro. Confluía, assim, a questão de segurança energética (necessidade de desenvolver fontes alternativas para o diesel), com a perspectiva de um melhor aproveitamento do lixo produzido pela cidade (SPTRANS, 2005).

A primeira etapa de utilização experimental dessa frota durou até 1986, ano em que o programa foi desativado<sup>31</sup>. Entretanto, a MBB prosseguiu no desenvolvimento dos motores a gás, percebendo potenciais oportunidades de negócio no longo prazo, principalmente após o governo federal ter aprovado o Plano Nacional do Gás Natural em 1987 (SANTOS, 2003).

Ocorreu a retomada das experiências de campo por parte da CMTC, entre os anos de 1989 e 1991, com 8 ônibus sendo equipados com diferentes tipos de motores (SANTOS, 2003). Os resultados obtidos serviram para concluir que os motores a gás Dedicados, isto é, não transformados, apresentavam vantagens de desempenho operacional, naquela época. A partir daí, essa passou a ser a principal aposta da MBB (SANTOS, 2003).

Dando continuidade ao programa de desenvolvimento tecnológico, foram adquiridos pela CMTC 60 ônibus movidos a gás, nos anos de 1991/1992, fornecidos pela MBB. Paralelamente, foi celebrado um convênio com a PETROBRAS (através da sua Distribuidora - BR), para a melhoria da qualidade do gás natural e a garantia de fornecimento. Iniciou-se, também, a construção do posto de abastecimento Água Branca, na Barra Funda, com capacidade para 250 veículos/dia e foram implementadas atividades de treinamento de recursos humanos (SANTOS, 2003). Esta frota da CMTC operou até 1993.

Os testes revelaram uma série de dificuldades técnicas, as quais serão apresentadas a seguir nos capítulos dos aspectos técnicos e tecnológicos. Com a privatização da CMTC e a criação da São Paulo Transportes SA.- SPTRANS (sucessora da CMTC, não mais como operadora, mas exclusivamente na gestão do

---

de 70.

<sup>31</sup> O aprofundamento da crise econômica do país nesse período (segunda metade da década de 80) é apontado como um dos possíveis causadores da interrupção dos testes de campo com ônibus a gás e outras alternativas energéticas entre 1986 e 1988 (SANTOS, 2003). Provavelmente a falta de recursos e os riscos associados a grandes mudanças de inovação tecnológica devam ter sufocado os primeiros planos e experiências iniciados na década de 80. Mundialmente, em 1986, o contra-choque do petróleo também reduziu consideravelmente os preços dos derivados de petróleo, como o diesel.

transporte coletivo) e para garantir a continuidade do desenvolvimento tecnológico do programa de gás natural, foi firmado outro convênio de cooperação técnica entre a SPTRANS, a MBB, a BR e a Cooperativa Comunitária de Transportes Coletivos – CCTC (que passou a operar a frota movida a gás da antiga CMTC). Tal convênio visava a continuação da avaliação técnica da frota existente.

O crescimento e o avanço da conscientização ambiental do setor de transporte e a necessidade de controlar a poluição do ar nos grandes centros urbanos começavam a ser incorporados. Iniciava-se, assim, uma nova busca pela definição de critérios ambientais cada vez mais restritos e os esforços de adequação (em prazos estipulados em lei) tanto das tecnologias dos motores novos como das características dos combustíveis a serem queimados por esses motores.

A MBB, diante de um possível e novo cenário de oportunidade, acreditou que poderia beneficiar-se de suas experiências antecipadas com o ônibus a gás, estando na dianteira em relação aos seus competidores diretos (SANTOS, 2003). Afinal, o gás apresentava vantagens ambientais evidentes, podendo, rapidamente, atender aos limites máximos de emissões, enquanto o diesel ainda necessitaria de importantes investimentos em desenvolvimento tecnológico (nos motores e na qualidade do combustível).

Em 24/01/1991, já na administração da Prefeita Luiza Erundina, decidiu-se por se valorizar, legalmente, as vantagens ecológicas do gás natural em relação ao diesel. Foi aprovada a Lei Municipal N°10.950 <sup>32</sup>, estabelecendo que: “as empresas concessionárias ou permissionárias de transporte coletivo na capital deverão substituir os ônibus ou motores a óleo diesel por outros movidos a gás natural num prazo de 10 anos” (SPTRANS, 2005).

A Lei N° 10.950/91 caracterizava-se por uma fraqueza essencial, isto é, não

---

<sup>32</sup> Esta Lei Municipal foi, de certa maneira, legitimada na esfera federal pelo Ministério de Minas e Energia, através da Portaria nº 553 de 25/09/92, que autorizou a utilização de gás natural em frotas de ônibus urbanos. No entanto, não deixa de ser curioso que o município de São Paulo tenha aprovado tal lei na mesma época em que a frota de ônibus a gás da CCTC já definhava. Por outro lado, não havia nenhuma mobilização específica para a promoção do uso do gás, a não ser pelo programa de desenvolvimento tecnológico da MBB. Mesmo no âmbito do governo federal, os efeitos de promoção e conscientização, advindos da publicação do PLANGÁS, já tinham arrefecido. As próprias regulamentações do PROCONVE não procuravam, necessariamente, priorizar o uso do gás natural. De fato, sequer o consideravam como uma opção relevante para a substituição do diesel no setor de transporte. Basta notar que não haviam sido estabelecidos quaisquer limites máximos de emissão para motores a gás.

previa uma cadência para o programa de conversão da frota. Ao mesmo tempo, parece ter sido aprovada sem nenhuma consulta prévia ou estudo das condições do mercado. Permaneciam as mesmas barreiras que haviam dificultado (ou impedido) a viabilização do ônibus a gás no passado, entre elas (SPTRANS, 2005):

- as dificuldades logísticas (por exemplo, a ausência de postos de abastecimento e redes de distribuição de gás);
- a fase ainda embrionária no desenvolvimento tecnológico dos motores e outros equipamentos necessários para o abastecimento do gás;
- a abrangência limitada da iniciativa, restrita ao âmbito exclusivamente municipal;
- a falta de garantias no fornecimento do gás (em quantidade e qualidade adequadas).

Entre as iniciativas piloto promovidas desde os anos 80 e o lançamento de um programa de larga escala, induzido pela Primeira Lei do Ônibus a Gás da Cidade de São Paulo, havia uma distância tremenda. Estabeleceu-se um período de até 10 anos para a implementação da Lei, pois, se acreditava que este seria um prazo adequado para a eliminação das barreiras que impediam o avanço do gás na área de transporte público. Contudo, migrar da esfera do desenvolvimento tecnológico para uma dimensão industrial, sem considerar os aspectos relativos à escala econômica do projeto, foi a grande dificuldade das várias iniciativas de utilização de ônibus a gás em São Paulo.

Ao limitar o programa em uma esfera municipal, diminuiu-se, também, sua capacidade de redução de custos. Além disso, tal movimento partiu de uma cidade com baixa tradição gasífera, e distante das regiões produtoras de gás, sendo igualmente limitada a sua capacidade de abastecimento através da importação de gás de outras regiões. A partir do final da década de 90 este problema se tornaria menor com a expectativa da chegada do gás natural boliviano. Estas condições não contribuíam para a competitividade e o potencial de sucesso do programa

Mesmo já passados cinco anos desde a aprovação da *Primeira Lei do Ônibus a Gás da Cidade de São Paulo*, as empresas de transporte ainda não tinham migrado para o gás e a situação permanecia indefinida, com a Lei transformando-se em “palavras quase mortas”. Em fins de 1996, quando apenas a primeira geração de motores da MBB estava disponível, somente cerca de uma centena de veículos era

alimentada com gás natural na cidade de São Paulo, indicando a falta de competitividade para a implementação do programa<sup>33</sup> (SPTRANS, 2005).

Cresceram-se as pressões para que a lei fosse cumprida. Assim, a nova administração pública do município, através da Secretaria do Verde e do Meio Ambiente, passou a desenvolver os esforços para viabilizar o ônibus a gás na cidade (SPTRANS, 2005).

No sentido de demonstrar que alguma ação estava sendo desenvolvida, convenceu-se uma primeira empresa privada, inicialmente em 1995, a Viação Jaraguá, a adquirir, com preços vantajosos, os ônibus a gás que estavam parados no pátio da MBB<sup>34</sup>. Infelizmente, essa experiência foi muito negativa, pois esses veículos ainda apresentavam graves problemas técnicos<sup>35</sup> e a reputação do ônibus a gás começou a declinar junto aos empresários privados do transporte público. Em seguida, no sentido de recriar um esforço coordenado, envolvendo todas as partes interessadas, foi organizado o Conselho de Meio Ambiente e Desenvolvimento da Prefeitura de São Paulo, CADES, cujo objetivo era adequar ou aperfeiçoar a Lei Nº 10.950 (SPTRANS, 2005).

Não tendo a Primeira Lei do Ônibus a Gás da Cidade de São Paulo produzido o efeito desejado e, estando comprometido o seu cumprimento no prazo definido, foi promulgada em 5 de julho de 1996 a Lei municipal Nº 12.140, a *Segunda Lei do Ônibus a Gás da Cidade de São Paulo*, alterando o texto da lei anterior e ampliando, de 2001 para 2007, o prazo de substituição total da frota, bem como prevendo uma substituição cadenciada da mesma (SPTRANS, 2005). Esta nova Lei do Ônibus a Gás foi regulamentada pelo Decreto Nº 36.296 de 07/08/1996, atribuindo à SPTRANS a responsabilidade pela elaboração e implementação do **PAC – Plano de Alteração de Combustível**. Foi criado um grupo de trabalho para ouvir as várias partes interessadas e definir os critérios de introdução do PAC (SPTRANS, 2005).

---

<sup>33</sup> Sob a influência da Conferência ECO - 92, realizada no Rio de Janeiro em 1992, a MBB decidiu produzir 250 ônibus a gás, para serem utilizados durante o evento e promover, definitivamente, o gás natural como opção energética mais favorável para o controle de emissões de gases poluentes em grandes cidades. Após a ECO - 92, a MBB ainda não tinha encontrado compradores para todos esses ônibus. Muitos destes somente foram absorvidos pelo mercado em 1995 (SPTRANS, 2005). Esses e outros fatores, os quais deverão ser discutidos durante a apresentação dos capítulos desta dissertação, é que corroboraram a falta de sucesso de inúmeras das muitas iniciativas já documentadas sobre a utilização de ônibus a gás no país.

<sup>34</sup> Ônibus encomendados à MBB, mas não comercializados desde a ECO 92.

<sup>35</sup> Os principais problemas técnicos das tecnologias de motores MBB para ônibus a gás estarão sendo descritas no capítulo *Tecnologia Dedicada*.

Muitas das diversas barreiras estruturais foram identificadas e procurou-se estabelecer uma estratégia de penetração do ônibus a gás. O objetivo era iniciar, rapidamente, o plano de conversão da frota, mas, ao mesmo tempo, garantir um período adequado de transformação, para que os obstáculos fossem gradualmente eliminados e os agentes pudessem se preparar.

O subtítulo a seguir busca descrever os principais elementos referentes ao PAC. Verificamos que, apesar dos enormes esforços de articulação desenvolvidos no âmbito do CADES, os interesses individuais somaram-se aos obstáculos estruturais que já dificultavam a introdução do ônibus a gás em São Paulo. Freqüentemente, os agentes adotaram comportamentos que inibiram, ainda mais, o sucesso do projeto.

Por fim, foi aprovada em 12/12/2001 a Lei Nº 13.242, que, em seu artigo 46, revogou a Segunda Lei do ônibus a Gás da Cidade de São Paulo.

### **2.1.2.1 - O PLANO DE ALTERAÇÃO DE COMBUSTÍVEL - PAC**

Logo após a promulgação da *Segunda Lei do Ônibus a Gás da Cidade de São Paulo*, o primeiro desafio da SPTRANS, no âmbito do CADES, foi definir a cadência adequada para a conversão da frota ao gás natural. Os fabricantes de ônibus VOLVO e VW recusaram-se a produzir, imediatamente, motores a gás no Brasil. Propuseram uma solução alternativa, e intermediária, com o suprimento de motores importados. A estabilização cambial imposta pelo Plano Real e o processo de abertura da economia nacional tornavam essa opção mais atrativa do que um esforço tecnológico independente. A CUMMINS já havia desenvolvido um motor a gás no exterior, porém este exigia um gás bastante "leve ou seco"<sup>36</sup>, com uma concentração de metano acima de 80%. Como será discutido a seguir, esta condição não era encontrada na cidade de São Paulo (SPTRANS, 2005).

---

<sup>36</sup> Um gás "leve ou seco" apresenta uma composição onde predomina-se, fundamentalmente, o metano (CH4). Enquanto, na composição de gases "pesados e úmidos" haverá maior quantidade de elementos mais pesados (etano, butano, propano e superiores). A pré-ignição do combustível pode gerar danos irreversíveis aos motores. Em automóveis leves, pode-se admitir um gás mais pesado, pois existem possibilidades tecnológicas para controlar os problemas de detonação. Porém, em motores pesados, para ônibus e caminhões, é necessário um maior rigor na composição do gás e na quantidade mínima de metano presente. As questões relacionadas à qualidade e especificação do gás natural foram totalmente solucionadas a partir da Resolução Nº 42 de 15 de abril de 1998 (ANP, 1998) as quais foram alteradas pela Resolução Nº 104 de 8 de julho de 2002 (ANP, 2002).

Trabalhando paralelamente, a MMB encontrava-se com o seu motor a gás de segunda geração em estágio avançado de desenvolvimento. Tendo partido da utilização do biogás, havia se preocupado em desenvolver um motor compatível com concentrações de metano inferiores a 70%. Portanto, esta assumiu o compromisso de fornecer, progressivamente, todos os motores que fossem requeridos pelo mercado (SANTOS, 2003).

Desta maneira, na Lei Nº 12.140/96, a cadênciа de conversão da frota foi estabelecida em função da capacidade de produção declarada pela MBB. Definiu-se que a frota deveria ser convertida a uma taxa de 5% ao ano, após a publicação da lei, elevando-se para 10% ao ano partir do terceiro ano de vigência da mesma (mediante avaliações técnicas, poder-se-ia alterar esse ritmo de penetração em até 50%) (SPTRANS, 2005).

O gás fornecido pela PETROBRAS era insuficiente para alimentar, de imediato, toda a frota de ônibus da cidade de São Paulo. Poder-se-ia suprir, no máximo, 25% da frota total, limitando, assim, a cadênciа de penetração (SANTOS, 2003). Igualmente importante foi definir um programa que fosse compatível com a capacidade da PETROBRAS de aumentar a oferta de gás e da CONGÁS de fazer esse gás chegar aos consumidores finais nas garagens.

As restrições de logística também eram fundamentais, pois várias garagens se encontravam muito distantes (mais de 20 km) das redes de distribuição de gás da CONGÁS (até então a única distribuidora de gás canalizado do Estado de São Paulo). Esta alegava ser inviável a conexão de qualquer consumidor localizado a mais de 4,5 km da rede (SANTOS, 2003).

Foram estabelecidas três fases de implementação do PAC. Na primeira, selecionaram-se as garagens que se encontravam próximas da rede da CONGÁS, mas suficientemente distantes das regiões que tinham maior probabilidades de receber um gás pesado e úmido<sup>37</sup>.

---

<sup>37</sup> A PETROBRAS fornecia gás para São Paulo a partir de duas fontes principais: (1) o gasoduto GASPAL que trazia gás da Bacia de Campos no Rio de Janeiro, através do Vale do Paraíba. Esse gás já havia sido processado em Cambuínhas com a retirada dos elementos pesados. Era, portanto, um gás mais leve e seco; e (2) o gás do Campo de Merluza, na Bacia de Santos, o qual era entregue na refinaria da Petrobras em Cubatão e injetado diretamente nas redes da CONGAS, sem tratamento prévio, pois os volumes produzidos não justificavam a construção de uma Unidade de Processamento de Gás Natural,

Além disso, procurou-se privilegiar aquelas garagens que estavam em processo de renovação de frota e com possibilidade de atingir o lote econômico mínimo de 100 veículos, que viabilizaria um sistema de abastecimento próprio. De fato, em um compromisso firmado entre as distribuidoras de combustível, que adquiririam o gás da CONGÁS e o repassariam para as garagens, e a SPTRANS, estabeleceu-se que seria necessário atingir, em médio prazo, um lote econômico mínimo de 100 veículos, por companhia de ônibus contemplada, para que os investimentos em estações de compressão se viabilizassem. Essas condições representariam um consumo médio de aproximadamente 20.000 m<sup>3</sup>/dia/garagem (SPTRANS, 2005).

Buscando o cumprimento da Lei 12.140/96, com a total substituição da frota, a SPTRANS insistia em que as garagens necessitavam equipar-se com os seus próprios sistemas de abastecimento, pois seria inviável para uma cidade com as dimensões de São Paulo, que um número excessivo de ônibus ficasse deslocando-se para abastecer-se com gás em postos cooperativos e centralizados. A experiência da CCTC e da Viação Jaraguá, que abasteciam no posto Água Branca era particularmente negativa. Diariamente, formavam-se filas que duravam horas para o abastecimento dos ônibus a gás. A SPTRANS passou a oferecer forte resistência à generalização de tal conceito (SANTOS, 2003).

Na primeira fase do PAC, a desenrolar-se ao longo do primeiro ano de vigência da Lei 12.140, em 1997, e de acordo com a sua cadência, estavam previstos cerca de 560 veículos. Essa quantidade de veículos foi sugerida pela MBB, em função de sua capacidade de produção, e foi estabelecida, através de consenso técnico, admitindo-se que tal frota inicial serviria para a preparação dos vários agentes envolvidos (rede de assistência técnica, reposição de peças/insumos de manutenção e treinamento de funcionários da rede de concessionárias e operadoras). Apenas duas empresas, Viações Santa Madalena e Gatusa, foram arroladas ao programa, compulsoriamente, através de ordens de serviço, expedidas pela SPTRANS. Todavia, suas encomendas totalizaram somente 130 ônibus<sup>38</sup> (SPTRANS, 2005).

---

UPGN (na época avaliada em US\$ 20 milhões). Esse gás era mais pesado e úmido, sendo incompatível com o uso veicular em ônibus.

<sup>38</sup> Ao longo de todas as atividades do PAC, em momento algum ocorreu uma falta de capacidade de produção da MBB. Pelo contrário, a empresa chegou a criar uma linha de montagem específica para os chassis com o sistema a gás. A MBB tinha a perspectiva de vender cerca de 600 a 1.000 ônibus a gás por ano, obtendo os ganhos de economia de escala necessários para a redução dos custos de produção. Acreditava-se, também, que seria necessário vender de 20 a 30 mil veículos para obter o retorno de todos

Para a segunda fase do PAC, a partir de 1998, foram emitidas ordens de serviço, pela SPTRANS, contemplando 6 empresas, que totalizariam cerca de 320 veículos (SPTRANS, 2005). Nesta fase, admitiu-se o conceito de um posto de abastecimento centralizado e coletivo para as empresas que operassem, imediatamente, com um número pequeno de ônibus a gás. Assim, previram-se a expansão e otimização do posto de abastecimento Água Branca e a construção de dois postos de abastecimento cativos nas garagens da CCTC e da Viação Penha São Miguel (pois ambas atingiriam o lote mínimo de 100 veículos) (SPTRANS, 2005).

Enfim, para a terceira fase do PAC, a desenrolar-se ao longo de 1999, foram emitidas ordens de serviço para 13 empresas, tendo sido definido que cada uma deveria colocar em operação 60 veículos a gás natural (SPTRANS, 2005). Para que cada uma dessas empresas atingisse o lote econômico de 100 veículos, elas deveriam adquirir, em 2000, mais 40 ônibus a gás (SPTRANS, 2005). Nesta fase, teriam sido consideradas todas as garagens situadas a uma distância máxima de 4,5 km das redes da CONGÁS (essas estavam em uma zona de influência considerada economicamente viável<sup>39</sup>) (SPTRANS, 2005).

Ao final das três fases do PAC, o total de veículos a gás a serem incluídos no sistema, de acordo com a Lei 12.140, seria de 1.376 (SPTRANS, 2005). A quantidade total de ordens de serviço expedidas pela SPTRANS foi de 1.366 veículos. Contudo, entre o previsto e o realizado, a distância se revelou bastante grande. As empresas recebiam as ordens de serviço da SPTRANS, mas não se sentiam obrigadas a adquirir os ônibus a gás. Muitas vezes, apelavam na justiça e conseguiam liberar-se da obrigatoriedade de compra, alegando que a Prefeitura não poderia forçar o

---

os investimentos já realizados no desenvolvimento tecnológico do motor (MURARO, 2004). Assim, houve, inicialmente, um posicionamento agressivo da empresa, procurando induzir as companhias de transporte coletivo a adquirirem o ônibus a gás. Em seguida, o ritmo de produção da MBB foi reduzido. Dos 600 ônibus previstos para a fase inicial do PAC, somente 130 unidades foram produzidas. As companhias de ônibus alegam que os veículos eram fornecidos com muito atraso, inviabilizando a sua aquisição (e, portanto, a implementação do PAC). A MBB declara que a experiência da ECO-92 havia demonstrado que a produção antecipada de um número muito grande de veículos era arriscada, dado que o mercado não estava consolidado, porém, a produção teria seguido naturalmente o crescimento da demanda, inclusive com a entrada eventual de novos fornecedores. Enfim, há, também, quem acredite que as companhias de transporte, sentindo-se pressionadas pela MBB em impor a tecnologia do gás natural, não hesitavam em ameaça-la de que poderiam passar a adquirir todos os seus novos ônibus a diesel junto a outros fornecedores. Receosa de perder a liderança do mercado, a MBB reduziu consideravelmente o seu afã de promover e comercializar o ônibus a gás. Todos as partes negam que tais conflitos tenham ocorrido, tendo sido impossível realizar uma verificação independente. O fato é que surgiram surpresas desagradáveis na produção dos ônibus, comprometendo a implantação do PAC (SPTRANS, 2005).

<sup>39</sup> A malha dutoviária da empresa CONGÁS era pequena quando comparada à grande metrópole de São Paulo. A determinação de que só seriam ligadas empresas situadas a menos de 4,5 km da rede de gasodutos existente foi estabelecida pela própria CONGÁS.

concessionário ou permissionário a fazer investimentos que conduziriam ao seu desequilíbrio econômico e financeiro (SPTRANS, 2005).

Desde a primeira fase do PAC, nunca foram repassados às empresas de transporte os recursos referentes ao aumento de custos devidos à utilização do gás natural. Em momento algum se contemplaram mudanças na estrutura tarifária do transporte coletivo de modo a ajustá-la à realidade econômica do ônibus a gás. Isso levou a maioria dos empresários a buscar formas jurídicas para o não cumprimento do programa (SPTRANS, 2005).

Em agosto de 1998, em reunião do CADES para discutir sobre o avanço da primeira fase do PAC, já se verificava um completo não atendimento aos prazos e quantidades de substituição de veículos previstos na lei. As empresas operadoras de ônibus alegavam dificuldades para implementar o PAC e requeriam constantes prorrogações dos prazos para a conversão da frota (SPTRANS, 2005). Em 1998 somente três empresas haviam aderido ao Programa, mesmo assim, adquirindo um número muito menor de veículos (vide tabela 2).

Tabela 2: Quadro de Evolução do PAC - Dados Apresentados na Reunião de 25/08/98 do CADES

EMPRESA	QUANTIDADE DE ÔNIBUS A GÁS PROGRAMADOS	QUANTIDADE DE ÔNIBUS A GÁS JÁ ADQUIRIDOS	2.1.1 PRAZOS
Santa Madalena	37	28	Sem prazo
Gatusa	65	0	Outubro - 1998
CCTC	23	3	Dezembro - 1998

Fonte: SPTRANS, 2005

No final de 1999 operavam no município de São Paulo, através de quatro empresas, incluindo os ônibus antigos da CCTC e da viação Jaraguá (que adquiriram os ônibus de primeira geração da MBB, sobras da ECO-92, e portanto anteriores ao PAC), cerca de 250 ônibus a gás (sendo que 130 destes eram primeira geração e somente uns 120 ônibus eram de segunda geração, resultados das etapas de desenvolvimento do PAC) (SPTRANS, 2005).

A partir de 2000, o PAC estagnou definitivamente e a frota de ônibus a gás na cidade de São Paulo começou a declinar gradualmente. Em 2002 ainda havia cerca de

150 veículos em operação, porém uns 60 em breve iriam desaparecer, pois precisariam passar por revisões técnicas mais profundas, incluindo inspeções periódicas dos cilindros de abastecimento quanto aos aspectos de segurança necessária, acentuando ainda mais a sua inviabilidade econômica (SPTRANS, 2005). Em agosto de 2005 existiam, na cidade de São Paulo, apenas 41 veículos movidos a GNV sendo 11 da Viação OAK TREE (antiga viação Santa Madalena) e 30 veículos da viação GATUSA (SPTRANS, 2005). A tabela 3 apresenta a evolução do PAC nos seus primeiros anos de implantação.

Tabela 3: Posição da frota movida a gás natural.

Em atendimento à Lei 10.950/91, alterada pela Lei 12.140/96.

Ano de Referência	Frota Vinculada	Veículos a serem incluídos no sistema (Lei 12.140)	Veículos em operação	Defasagem de veículos previstos
1997	11280	564(5%)	140	424
1998	11030	276(2,5%)	95	181
1999	10714	536(5%)	9	527
2000	10100	505(5%)	0	505
<b>TOTAL</b>		<b>1881</b>	<b>244</b>	<b>1637</b>

Fonte: SPTRANS, 2005

A desmontagem do PAC terá marcado o fim do maior programa, com abrangência municipal, de implementação de ônibus a gás no Brasil. Suas dimensões problemáticas foram: a componente tecnológica; a carência de infra-estrutura; a não disponibilidade de combustível adequado; e os seus maiores custos. Estavam, sem dúvida, associadas à imaturidade de um processo que saltou, de maneira muito precoce e desorganizada, de uma fase experimental para uma dimensão de aplicação industrial. Porém, a reduzida abrangência da iniciativa dentro da esfera exclusiva do município também contribuiu para que o programa jamais amadurecesse e se tornasse uma experiência plenamente desenvolvida.

Como esta tese tentará mostrar, a visão mais ampla, entende-se aqui a esfera Federal, de construção de um programa de utilização do gás natural em ônibus urbanos poderia ser o caminho mais seguro a ser percorrido pelos interessados na viabilização deste tema. As barreiras apresentadas se mostraram consideravelmente grandes o que leva a assumir que a solução deva, também, contemplar soluções cuja magnitude seja capaz de transpor alguns dos pontos apresentados pela falta de sucesso de experiências com ônibus a gás em cidades como a de São Paulo. Talvez a

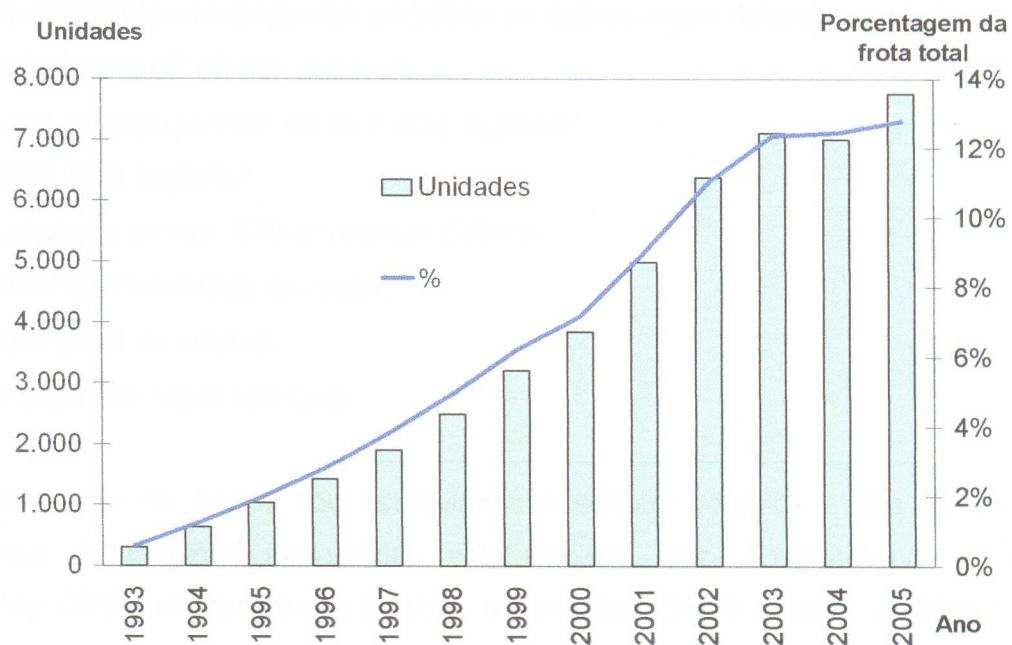
formulação de um “novo e continuado PLANGAS” poderá vir a reunir os esforços para uma real e vitoriosa substituição do óleo diesel por gás natural nas frotas de ônibus urbanos das grandes cidades brasileiras. Um dos objetivos desta dissertação é a apresentação final das principais variáveis de influência na viabilidade técnica e econômica da inserção do uso do gás natural no transporte público de passageiros por ônibus, sem esquecer dos aspectos ambientais associados.

### 2.1.3 - Experiências Internacionais

#### Estados Unidos

Os EUA é o líder na experiência de utilização de ônibus urbanos movidos a gás natural (FILHO, 2006; NTU, 2004; WATT, 2001). As experiências comerciais com ônibus a gás natural nos EUA tiveram início por volta de 1990, com crescimento de 1% ao ano em sua participação na frota total, como pode ser observado no gráfico abaixo (FILHO, 2006). Entretanto, alguns dos problemas enfrentados no Brasil também ocorreram em frotas a gás natural norte-americanas.

Tabela 4: Evolução da frota de ônibus a gás nos EUA.



Fonte: (APTA, 2005)

Existe, em 2006, cerca de 73 empresas de transporte operando ônibus a gás natural (FILHO, 2006). Segundo Eudy (2002), em 2002, 57% das empresas que operavam ônibus a gás natural no EUA apresentavam algum sucesso, sendo que 42% destas se apresentaram com resultados predominantemente negativos (prejuízos). Ocorreram experiências negativas nos EUA, também, com os veículos a gás natural dedicados de primeira geração, tal qual ocorreu no Brasil. Dentre as desvantagens do ônibus a gás natural dedicado nos EUA apresentadas por Filho (2006) estão: maior custo de aquisição do veículo; custo de manutenção 40% superior ao veículo diesel convencional; menor autonomia (km/dia); menor confiabilidade do motor; maior peso do veículo; menor vida útil dos freios.

A principal motivação para utilização do gás natural nos EUA é a questão ambiental. Além da rigidez da legislação ambiental federal cada estado possui a sua própria norma, igual ou mais rígida que a norma federal. A Califórnia, por exemplo, praticamente divide por cinco os níveis de emissão estabelecidos pela legislação federal; com isso, somente tecnologias mais limpas atendem a esses padrões, de forma que quase toda a frota de ônibus de Los Angeles já utiliza o gás natural (NTU, 2004).

Ao mesmo tempo em que a legislação é rígida, os incentivos financeiros são grandes. Há, por exemplo, um repasse federal que cobre cerca de 80% do custo de aquisição de um veículo novo, a fundo perdido, além de cobrir, no mesmo percentual, os gastos com instalações e equipamentos necessários para substituição do óleo diesel pelo gás natural (NTU, 2004). Ao mesmo tempo, cada localidade tem sua própria política de incentivo, geralmente associada à isenção de tributos (NTU, 2004).

O mercado de combustíveis nos EUA oscila muito, mas o preço do gás (medido em therm<sup>40</sup>), em geral, é equivalente ao do preço do óleo diesel, o que gera um custo de abastecimento cerca de 30% maior<sup>41</sup> (NTU, 2004). Além deste custo somam-se ainda aqueles relacionados ao capital, manutenção e treinamento os quais

---

<sup>40</sup> Nos EUA, a unidade de medida comercial para venda do gás natural é o therm. O gás natural não é vendido em massa (kg), como acontece na Europa, nem em volume (m<sup>3</sup>) como acontece no Brasil. Os dispensers de abastecimento de gás natural, nos EUA, são capazes de identificar instantaneamente o conteúdo energético contido no gás que está sendo vendido, sendo que o usuário paga sempre uma tarifa comum por unidade de energia comprada. Este é um processo mais caro, todavia mais interessante do ponto de vista do comparador, uma vez que há oscilações dos poderes caloríficos de gases comercializados em diferentes regiões do país.

<sup>41</sup> O rendimento térmico dos motores ciclo Otto que operam ônibus a gás natural nos EUA são menores que aqueles encontrados em motores ciclo diesel convencionais. Para rendimento térmico de ônibus com ciclo Otto e Diesel vide capítulo *Tecnologia Dual Fuel*.

podem, juntos, significar um adicional superior a 20% no custo quilométrico dos serviços (NTU, 2004). Como os sistemas são bastante subsidiados, a tarifa pode cobrir entre 20% a no máximo 60% do custo total. O custo adicional não é repassado para os usuários e é absorvido pelo orçamento público local (NTU, 2004).

Em 2005, estimava-se a frota de ônibus a gás natural nos Estados Unidos como sendo superior a 7800 veículos (FILHO, 2006).

### **Argentina**

A Argentina iniciou seu programa de substituição de combustíveis líquidos (gasolina e óleo diesel) pelo gás natural no ano de 1984. No ano de 1987 foram reduzidos os subsídios ao óleo diesel para tomar o gás natural mais interessante economicamente em relação ao diesel no médio e longo prazo (WATT, 2001). O foco principal do programa era a substituição, no transporte público, dos veículos movidos a óleo diesel pelos veículos a GNV. No entanto essa meta não foi atingida pelo programa, mesmo com a redução dos incentivos econômicos dados ao óleo diesel. Não foram convertidos, ou substituídos, nenhum dos veículos movidos a óleo diesel. Todavia, o programa tornou-se um sucesso quanto à conversão de cerca de mais de 1,5 milhões de veículos leves de ciclo Otto para GNV (WATT, 2001).

Conclui-se, portanto, que o preço relativo do óleo diesel ainda o mantém como um combustível mais interessante para o transporte público que o gás natural. Outra conclusão importante é que a vantagem comparativa do preço do gás natural em relação à gasolina o torna um combustível interessante para os veículos de ciclo Otto. O governo argentino ainda procura meios de aumentar o consumo de gás natural no transporte público, reduzindo as perdas fiscais pelo alto consumo de óleo diesel e diminuindo as importações de óleo diesel para o país (FRACCHIA, 2001).

### **Austrália**

A Austrália operava no ano 2000 uma frota de 502 ônibus a gás natural comprimido, sendo que somente 24 ônibus eram operados por uma companhia privada (em Melbourne) e o restante pelo governo australiano. A frota de 478 ônibus

públicos representava 10,6% da frota total de ônibus do governo no ano 2000 (WATT, 2001). O programa australiano de GNV incluiu as seguintes medidas (WATT, 2001):

- Programa de infra-estrutura de GNV: investimentos públicos de até 50% dos investimentos totais para a construção de 20 postos de abastecimento públicos de GNV;
- Programa de conversão para combustíveis alternativos: investimentos públicos de até 50% dos investimentos totais para a conversão ou compra de ônibus novos dedicados a GNV, reduzindo os riscos fiscais para os usuários finais;
- Plano para assegurar a manutenção da vantagem de preços do gás natural em relação ao óleo diesel;
- Plano de concessões para combustíveis alternativos: aplica-se exclusivamente aos ônibus urbanos e aumenta a vantagem do preço do GNV em relação ao óleo diesel<sup>42</sup>.

## **Canadá**

O Canadá, no início da década de 90, apresentou grande desenvolvimento no uso do gás natural em ônibus. Apesar disto, porém, no ano de 1998, a taxa de aquisição de veículos a gás começou a cair consideravelmente, sendo que as vendas deste tipo de veículo praticamente pararam (WATT, 2001). Acredita-se que a falta de uma política governamental de incentivo ao uso de combustíveis alternativos com menores emissões de poluentes levou à desaceleração da aquisição de veículos a gás natural, bem como o estado de desenvolvimento dos ônibus a gás comprados no início da década de 90. Boa parte dos veículos apresentou problemas relacionados a falhas mecânicas e seus elevados custos de manutenção associados. No ano de 2000, a frota de ônibus a gás no Canadá estava em torno de 367 veículos em diversas cidades das províncias de Ontário e Columbia Britânica (WATT, 2001).

## **Europa**

A Itália é um dos países pioneiros na experiência de substituição do óleo diesel pelo gás natural em ônibus. O primeiro programa iniciou-se em 1978 com a conversão de um ônibus a diesel para o sistema Dual Fuel, ou seja, utilização simultânea da mistura óleo diesel e gás natural. Já no ano de 1979, foi desenvolvido um protótipo

---

<sup>42</sup> Algumas das novas linhas a serem concedidas pelo poder público para a operação, via empresas operadoras privadas, tinham como pré-requisito a operação com ônibus a gás natural, ou algum outro tipo de combustível alternativo pré-estabelecido.

totalmente a gás natural e no ano de 1986, devido à redução de custos e sucesso do protótipo, a frota italiana contava com 50 ônibus a gás natural (BALASSIANO, 1991). Em 2001, a Itália possuía 169 ônibus movidos a GNV na sua frota. Já em 2006 existia a encomenda de mais de 500 a GNV. A Itália escolheu o ônibus a gás tanto por razões ambientais quanto por razões econômicas, apesar do fato de as grandes cidades italianas possuírem limitações de espaço para construção de novas garagens e pontos de abastecimento para os ônibus a GNV. Mesmo assim, a utilização deste tipo de combustível é incentivada pelo país principalmente nos arredores dos centros históricos (WATT, 2001).

Na Europa foi estabelecida uma política, em 1995, que tinha como objetivo principal garantir a segurança da oferta de energia para os países europeus a preços competitivos e de forma ambientalmente correta. Esta política estabeleceu um programa específico para a utilização de gás natural no transporte urbano (GNV Europa). Este programa combina inovação tecnológica e avanço científico no uso do GNV, procurando ainda obter a melhoria da qualidade do ar nas cidades europeias. O GNV Europa colocou 323 veículos nas ruas de 15 cidades de 7 países europeus, até o ano de 2001 (WATT, 2001). O projeto procurou incluir os últimos avanços da tecnologia de GNV dos fabricantes europeus. Os aspectos inovadores do Programa GNV Europa são (WATT, 2001):

- Todos os veículos devem representar o estado da arte de tecnologia do uso de GNV existentes atualmente no mercado ou em fase final para viabilização comercial e, ainda, representar a maior parte dos fabricantes;
- Primeira demonstração na Europa do uso de biogás (metano renovável) em veículos leves e pesados;
- Utilização da última tecnologia de motores com misturas pobres e de uma variedade de modelos capazes de acomodar diferentes números de passageiros;
- Realização de testes empíricos de emissão de poluentes para mostrar como se comportam essas emissões ao longo do tempo de utilização do motor a gás e como se dá a deterioração deste motor.

Os resultados esperados do programa GNV Europa são (WATT, 2001):

- Quantificação confiável dos benefícios relativos à emissão de poluentes, através do uso de modernas tecnologias de controle para os motores, em diferentes condições de uso e capacidade;

- Quantificação dos aspectos operacionais e de manutenção dos ônibus a GNV;
- Determinação da viabilidade econômica dos ônibus a GNV, particularmente para os projetos futuros;
- Determinação da viabilidade do uso de biogás nos ônibus urbanos e processo de abastecimento;
- Fortalecimento da infra-estrutura de distribuição e abastecimento do GNV nas áreas urbanas;
- Aumento do conhecimento do público sobre as aplicações e benefícios dos ônibus a GNV através da disseminação de informação; e
- Atingir os possíveis benefícios econômicos, de emprego e de exportação através do envolvimento dos fabricantes e fornecedores de gás.

A tabela 5 mostra uma relação atualizada da quantidade de ônibus a GNV existentes em alguns países do mundo que desfrutam do gás natural para o setor de transporte em geral.

Tabela 5: Frota atualizada de ônibus a gás natural existente  
em diferentes países do mundo.

País	Frota de ônibus a gás natural	Frota total de ônibus urbanos	% de ônibus a gás na frota total de ônibus urbanos
Estados Unidos	7.747	60.526	13%
Coréia do Sul	6.600	19.170	34%
Índia	6.175	640.000	1%
China	1.970	564.000	0,3%
Itália	1.133	14.258	8%
Alemanha	1.000	41.353	2%
Japão	937	26.475	4%
França	931	12.000	8%
Austrália	848	4.127	10%
Grécia	456	3.667	12%
Canadá	367	6.557	4%
Suécia	320	2.046	16%
Espanha	110	14.000	0,8%
Tailândia	82	42.681	0,2%
Brasil	40	90.706	0,04%

Fontes: (1) (APTA, 2005; FILHO 2006, WATT, 2001; EBERWEIN, 2004; FULTON, 2004; GVR, 2006; SPTRANS, 2002; SPTRANS, 2005).

## 2.2 – Contextualização de aspectos legais e de regulamentação dos ônibus a gás natural

O debate sobre o papel do ônibus a gás adquiriu, gradualmente nos últimos anos, novos contornos cada vez mais dentro de uma ótica primordialmente ambiental. No Brasil, em especial, os dilemas da crise de suprimento de petróleo ficaram para trás. Porém, a preocupação com a poluição causada pelos veículos automotores foi adquirindo corpo (desde a publicação da RESOLUÇÃO CONAMA N° 010, de 26 de Setembro de 1984 quando se determinou, pela primeira vez, que a Secretaria Executiva do Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA - promovesse estudos sobre o assunto da poluição veicular e apresentasse proposta de resolução para a adoção de medidas destinadas ao seu controle) (BRASIL, 1984).

O CONAMA, em 1986, através da RESOLUÇÃO N° 018, ins tituiu, em caráter nacional, o PROGRAMA DE CONTROLE DA POLUIÇÃO DO AR POR VEÍCULOS AUTOMOTORES - PROCONVE, com os objetivos, entre outros, de reduzir os níveis de emissão de poluentes por veículos automotores, visando o atendimento aos Padrões de Qualidade do Ar, especialmente nos centros urbanos; e a promoção do desenvolvimento tecnológico nacional, tanto na engenharia automobilística, como também em métodos e equipamentos para ensaios e medições da emissão de poluentes (BRASIL, 2004).

Inicialmente o PROCONVE estabeleceu os primeiros limites máximos de emissão de poluentes do ar para os motores e veículos automotores novos e leves (com motores do ciclo Otto). Para os motores e veículos com motores do ciclo Diesel, somente foram definidos os limites de emissão de fuligem pelo tubo de escapamento (para veículos leves e pesados) (BRASIL, 2004).

Em 14 de dezembro de 1989, a RESOLUÇÃO N°010 do CONAMA, considerou, pela primeira vez, a necessidade de controlar as emissões de monóxido de carbono, hidrocarboneto e óxidos de nitrogênio, em veículos com motor de Ciclo Diesel (BRASIL, 1989). Foram estabelecidos limites máximos para essas emissões e um programa evolutivo constituído de duas etapas (a menos restrita, com início em janeiro de 1993; e a mais restrita, com início em janeiro de 1995). Para o cumprimento desses limites máximos de emissão, reconheceu-se que o Conselho Nacional do Petróleo (CNP) deveria assegurar a disponibilidade de óleo diesel padrão e comercial com

especificações que garantissem um teor de enxofre máximo de 0,5%, em peso<sup>43</sup>, a partir de 01 de janeiro de 1993 (BRASIL, 2004).

Diante da legislação brasileira quanto aos padrões de emissão para a homologação de veículos novos, o ano 2009 é uma referência importante, pois marca a entrada em vigor de legislação ambiental mais restrita no âmbito do PROCONVE. Algumas das atuais opções tecnológicas poderão não estar suficientemente maduras em um prazo tão curto. Neste sentido, o gás natural leva uma vantagem muito grande, pois pode atender a esses novos limites com uma tecnologia bem mais simples, do ponto de vista de controle de emissões (CUMMINS, 2005B).

A antecipação do cumprimento de limites de emissões veiculares mais restritos, estabelecidos pelo PROCONVE, nos grandes centros urbanos pode contribuir significativamente para a melhoria da qualidade do ar nos grandes centros. Portanto, em uma perspectiva puramente tecnológica, o motor a gás ainda é uma proposta atual, que merece um tratamento diferenciado para a sua viabilização.

Foi aprovada, em 29 de outubro de 2002, a RESOLUÇÃO CONAMA N° 315, que instituiu as novas etapas para o PROCONVE, em caráter nacional, para serem atendidas nas homologações dos veículos automotores novos, nacionais e importados, leves e pesados, destinados exclusivamente ao mercado interno brasileiro (BRASIL, 2002). Os principais limites aplicados para ônibus urbanos estão resumidos na tabela 6.

---

<sup>43</sup> equivalente a 5000 ppm (partes por milhão em massa)

Tabela 6: Limites de Emissões do Programa de Controle de Emissões Veiculares - PROCONVE (para Ônibus Urbanos)

FASE CONAMA	IMPLANTAÇÃO	Em gramas / kWh			
		CO	HC	NOX	MP
III	1994	4,9	1,23	9,0	0,70
IV	1998	4,0	1,10	7,0	0,15
V	2004	2,1	0,66	5,0	0,10
VI	2009	1,5	0,46	3,5	0,02

Observações:

As exigências são mais complexas do que as apresentadas nesta tabela  
 Para maiores informações consultar a Resolução CONAMA N° 315 / 2002  
 As fases do CONAMA equivalem às fases de regulamentação européia da seguinte forma:  
 a. CONAMA III = EURO I  
 b. CONAMA IV = EURO II  
 c. CONAMA V = EURO III (em vigor a partir do ano 2000)  
 d. CONAMA VI = EURO IV (em vigor em 2005)

Fonte: BRASIL, 2002

Hoje, no Brasil, a CETESB tem se responsabilizado pela homologação do motores novos comercializados internamente no país. Alguns dos resultados de seus ensaios são apresentados na tabela 7. Os motores diesel tradicionais (motores com injeção mecânica) não conseguem cumprir a fase V do PROCONVE, apresentando níveis de emissões de NOx e MP bastante superiores (SANTOS, 2003).

Tabela 7: Comparação de Valores Típicos de Emissão de Motores para Ônibus Urbanos.

Emissões (g/kWh)	CO	HC	NOx	PM
Diesel padrão CONAMAV	0,96	0,30	4,66	0,085
GNV sem catalisador	1,83	0,40	2,58	0,027
GNV com catalisador	0,97	0,01	0,58	0,002
Limites CONAMA V (2004)	2,10	0,66	5,00	0,100
Limites CONAMA VI (2009)	1,50	0,46	3,50	0,020

Fonte: (FILHO, 2006)

Os dados da tabela 7 revelam a tendência que os motores a gás natural têm de emitir menos óxidos de nitrogênio (NOx) e material particulado (MP), quando comparados com veículos diesel convencionais. Todavia, apresentam maiores emissões de monóxido de carbono (CO) e hidrocarbonetos (HC). O uso de catalisadores no motor a gás natural iguala suas emissões de CO às do motor a diesel e reduz drasticamente as emissões de HC.

As tabelas 8 e 9 trazem a comparação entre os níveis máximos de emissão para as novas fases do PROCONVE no Brasil entre motores ciclo diesel sem sistemas de pós-combustão, motores a gás natural, e motores ciclo diesel com sistemas de pós-combustão.

Tabela 8: Valores limites - ensaios ESC (13 PONTOS NOVO) e ELR

Data de Atendimento	Monóxido de Carbono CO - (g/kWh)	Hidrocarbonetos Totais THC - (g/kWh)	Óxidos de Nitrogênio NOx - (g/kWh)	Material Particulado MP - (g/kWh)	Opacidade (ELR) $m^{-1}$
Linha 1- A partir de 01/jan/2006 (PROCONVE V)	2,10	0,66	5,00	0,10 ou 0,13 <sup>(1)</sup>	0,80
Linha 2 - A partir de 01/jan/2009 (PROCONVE VI)	1,50	0,46	3,50	0,02	0,50

Fonte: (BRASIL, 2002)

Tabela 9: Valores limites - ensaios ETC (TRANSIENTE)<sup>44</sup>

Data de Atendimento	Monóxido de Carbono CO - (g/kWh)	Hidrocarbonetos não metano NMHC - (g/kWh)	Metano CH <sub>4</sub> <sup>(2)</sup> - (g/kWh)	Óxidos de Nitrogênio NOx - (g/kWh)	Material Particulado MP <sup>(3)</sup> - (g/kWh)
Linha 1-A partir de 01/jan/2006 (PROCONVE V)	5,45	0,78	1,60	5,00	0,16 ou 0,21 <sup>(4)</sup>
Linha 2 - A partir de 01/jan/2009 (PROCONVE VI)	4,00	0,55	1,10	3,50	0,03

Fonte: (BRASIL, 2002)

(1) Para motores a gás natural, as condições de ensaio, segundo o ciclo ETC, e os valores limites estabelecidos deverão ser confirmados pelo IBAMA até 31 de dezembro de 2004;

(2) Apenas para motores a gás natural;

(3) Não é aplicável a motores alimentados a gás natural;

A legislação brasileira de emissões, para os veículos pesados do ciclo diesel, segue a regulamentação européia, de forma que os ciclos adotados para a homologação destes motores são (CONPET, 2005):

-Ciclo ECE (13 pontos antigo) – utilizado até o ano de 2004 para todos os tipos de motores e combustíveis;

-Ciclo ESC (13 pontos novo) – utilizado desde 2004 para motores do ciclo diesel sem dispositivos de pós-tratamento de gases (catalisador, filtros, etc)

<sup>44</sup> Segundo a resolução CONAMA 315/2002 o ensaio ETC (TRANSIENTE) será aplicado apenas para os motores ciclo diesel com sistemas de pós-combustão dos gases e, também, para os motores do ciclo OTTO dedicados ao uso do gás natural. Sendo assim, é importante percebermos a dificuldade em se comparar os níveis de emissão de veículos do ciclo diesel que ainda estão sendo ensaiados com o ciclo ESC (13 pontos - aplicado em 2006 para todos os motores do ciclo diesel sem sistemas de pós-tratamento dos gases de exaustão) com aqueles referentes aos motores dedicados ao gás natural, os quais já estão regulamentados a serem homologados pelo ciclo ETC (TRANSIENTE).

-Ciclo ETC – ciclo transiente onde são definidas duas curvas rpm\*tempo e torque\*tempo a serem seguidas simultaneamente, como sendo representativas dos usos em trânsito urbano, rural e de estrada – utilizado desde 2005 para motores a gás natural e todos os motores com pós-tratamento de gases de escapamento.

-Ciclo ELR – ensaio que mede o nível de obscurecimento da luz (opacidade) pela fumaça preta do escapamento do motor.

Para a implementação da fase VI do PROCONVE, através do diesel, serão inevitáveis novos avanços tecnológicos nos motores a diesel, inclusive incorporando avanços que já estão disponíveis nos motores a gás de terceira geração da MBB<sup>45</sup> além, é claro, da utilização de um diesel com muito menor teor de enxofre. As gerações de motores a gás natural da MBB serão comentadas em detalhes no capítulo destinado aos aspectos tecnológicos desta dissertação.

Motores a diesel com injetores eletrônicos (eletrônica embarcada – gerenciamento eletrônico) cumprem as condições de emissões do PROCONVE V, mas não atendem, por enquanto, as especificações que virão para a fase VI. No que se refere ao NOx, esses motores já estão tendo que evoluir para atender à fase V do PROCONVE e estão muito distantes dos níveis máximos previstos para a fase VI. Somente através da incorporação de sistemas de pós-tratamento dos gases os motores diesel poderão atender todas as exigências do PROCONVE VI<sup>46</sup> (AFAEEVAS, 2005). Porém, no estágio tecnológico atual, esses equipamentos são incompatíveis com os atuais níveis enxofre no combustível. Exige-se um diesel com concentrações máximas inferiores a 50ppm de enxofre (AFAEEVAS, 2005).

Até 2005, a PETROBRAS somente fornecia um diesel normal com 3.500 ppm de enxofre, chamado diesel do interior e um diesel especial, fornecido nas grandes áreas metropolitanas, com 2.000 ppm de enxofre, chamado diesel metropolitano.

O óleo diesel brasileiro vem sofrendo melhorias e no ano de 2005 a PETROBRAS já passou a fornecer um diesel de 500 ppm de enxofre, chamado S500, o qual vem sendo comercializado em algumas das maiores metrópoles brasileiras desde o início de 2005. Com a Resolução N° 15 da ANP de 17/07/2006 o óleo diesel S500 passa a ser de uso obrigatório e distribuído em todas as regiões

---

<sup>45</sup> A MBB possui, atualmente, a terceira versão (geração) do seu motor a gás no Brasil

<sup>46</sup> Ver capítulo 6

metropolitanas do país e o diesel com 3.500 ppm proibido de ser comercializado no país (ANP, 2006).

A partir de 2009, com a redução da concentração de enxofre no diesel metropolitano para 50 ppm, espera-se cumprir esta fase mais restrita de emissões. Contudo, como será visto a seguir, permanece ainda a discussão referente aos problemas logísticos de suprimento deste diesel e de fiscalização da entrada do diesel de maior teor de enxofre nas áreas metropolitanas (este problema pode ser resolvido com pigmentação característica para diferenciação dos diferentes tipos de diesel do mercado), além, é claro, da complexa e enorme tarefa destinada à PETROBRAS para a produção e distribuição, em tão curto prazo, deste diesel em quantidades suficientes para atendimento de todos os municípios do país (SANTOS, 2003).

O problema está no fato de que inúmeros veículos pesados operam em longos deslocamentos, o que força o seu abastecimento em diferentes regiões do país. Como o diesel com menor teor de enxofre provavelmente não estará disponível em todas as regiões do país (não no curto prazo<sup>47</sup>), os veículos novos equipados com catalisadores e motores fabricados para operarem com esta especificação de diesel terão seu desempenho ambiental totalmente comprometido, sem mencionar o possível comprometimento da vida útil dos dispositivos embarcados destinados ao controle das emissões veiculares.

É importante observar que os ônibus a gás de segunda geração da MBB, e principalmente os de terceira geração, já preenchem as condições previstas pela fase V do PROCONVE.

Para a nova fase VI, os motores deverão ser testados de acordo com um novo "ciclo de transientes"<sup>48</sup>, onde as emissões de CO e HC tendem a aumentar (SANTOS, 2003). Os motores a gás natural, segundo a Resolução 315/02 do CONAMA, já devem ser homologados segundo o ciclo transiente de ensaio de emissões. Portanto, sem uma evolução adicional, mesmo os motores a gás Dedicados necessitarão de novos avanços (SANTOS, 2003). Aparentemente, este não parece ser um problema muito grande para a MBB, uma vez que esta já possui uma outra tecnologia de ônibus

---

<sup>47</sup> Antes de 2009

<sup>48</sup> Os ensaios de homologação (de níveis de emissão) de motores novos a diesel têm sido realizados no Brasil segundo o ciclo de 13 pontos, onde apenas 13 pontos com diferentes condições de carga e rotação são utilizados para a avaliação dos motores. No ciclo transiente, inúmeros pontos de rotação e carga são utilizados para tentar simular as condições reais de operação de um veículo.

(motor M44h LAG), a qual é exportada para a Europa e que já atende aos padrões europeus extremamente rígidos<sup>49</sup>. A MBB informa que esta tecnologia atenderia com folgas os limites da fase VI do PROCONVE (LUZ, 2001).

Uma outra grande montadora de motores a gás natural é empresa americana CUMMINS. A CUMMINS firmou parceria com a canadense WESTPORT em março de 2001 com o objetivo de explorar o mercado aberto aos combustíveis alternativos, do qual o gás natural apresenta-se como uma das grandes oportunidades (CUMMINS, 2005). A CUMMINS WESTPORT INTERNATIONAL já contemplou a venda de mais de 10 mil motores a gás no mercado internacional, sendo o mercado dos EUA o seu principal cliente até o momento (CUMMINS, 2005). A CUMMINS possui em 2006 três principais famílias de motores a gás natural disponíveis comercialmente<sup>50</sup> (CUMMINS, 2005).

Segundo informações da própria CWI<sup>51</sup> os indicadores comparativos entre as tecnologias de motores diesel e motores a gás natural já são bastante favoráveis à opção gás natural, salvo, ainda, a questão custo da tecnologia. A tabela 10 foi apresentada na EXPO GNV 2005, no Rio de Janeiro, pela CWI e demonstra a evolução dos motores Dedicados ao gás natural nos últimos 15 anos, suas vantagens e crescente competitividade para com os motores do ciclo diesel (CUMMINS, 2005).

Tabela 10: Evolução comparativa dos motores CUMMINS a gás natural

em relação aos motores diesel

	1989	1996	2001	2007
<b>EMISSÕES</b>	Melhor	Melhor	Melhor	Melhor
<b>CONFIABILIDADE</b>	Pior	Pior	Similar	Similar
<b>CONSUMO</b>	Pior	Pior	Similar	Melhor
<b>DURABILIDADE</b>	Pior	Pior	Similar	Similar
<b>CUSTO</b>	Pior	Pior	Pior	Melhor

Fonte: (CUMMINS, 2005)

<sup>49</sup> A versão do M447h LAG, além do alto desempenho, 240 kW de potência e 250 N.m de torque, apresenta como ponto de destaque o fato de ser o primeiro motor mistura pobre do mundo a conquistar, na Europa, a certificação EEV - Enhanced Environmentally Friendly Vehicles - Veículos Excepcionalmente Compatíveis com o Meio Ambiente, requisito para que o veículo possa circular com o distintivo ecológico Anjo Azul, indicando que o produto contribui de forma significativa para a redução da poluição ambiental. (MERCEDES BENS DO BRASIL, 2002).

<sup>50</sup> As três famílias de motores se diferenciam pela capacidade dos motores: 5,9 litros (195-230 hp); 8,3 litros (250-280 hp) e 8,9 litros (320 hp).

<sup>51</sup> CUMMINS WESTPORT INTERNATIONAL

A CUMMINS já possui sua família de motores a gás natural disponível comercialmente para o mercado internacional atendendo aos padrões EURO III, padrões esses em vigor no Brasil para veículos do ciclo diesel (CUMMINS, 2005). Para atendimento aos padrões EURO IV inúmeras inovações terão de ser implementadas nos motores do ciclo diesel. No capítulo 6 serão avaliados os novos dispositivos necessários para o atendimento aos futuros padrões de emissões veiculares dos motores do ciclo diesel e a gás natural para as fases do PROCONVE VI no Brasil (equivalente ao EURO IV).

Os ônibus a gás de terceira geração da MBB já preenchem as condições definidas nas fases IV e V do PROCONVE.

Se for considerado que os motores a gás natural já permitem a sua adequação aos níveis mais restritos do PROCONVE VI, os quais serão obrigatórios em 2009, poder-se-i-a até propor uma possível antecipação na implementação dessa nova fase, digamos para 2007 ou 2008. Isso favoreceria o motor a gás em detrimento da opção diesel, pois nem o motor diesel, nem o próprio diesel, teriam condições para adequar-se tão rapidamente à fase VI (SANTOS, 2003).

Ainda não existem kits de conversão (Dual Fuel ou Ottolisação) homologados e certificados pelo IBAMA. A resolução CONAMA Nº 291/2001 estabeleceu os requisitos iniciais para a homologação de kits de conversão de motores para serem alimentados com gás natural (BRASIL, 2001). Esta resolução instituiu o Certificado Ambiental de uso do Gás Natural em Veículos Automotores – CAGN. A emissão deste certificado será feita pelo IBAMA mediante ensaios de homologação dos kits, os quais devem atender aos mesmos padrões estabelecidos para o combustível original do veículo<sup>52</sup>.

A resolução CONAMA Nº 291 não traz detalhes quanto aos kits de conversão de motores ciclo diesel, porém não exclui esta possibilidade. Aparentemente nos parece ser necessário que uma nova resolução seja feita para regulamentar os parâmetros de homologação destes novos kits de conversão. Contudo, pode-se prever que estes serão, tal qual vem sendo aplicado nos veículos do ciclo Otto, os mesmos padrões já estabelecidos nas fases do PROCONVE para os respectivos anos de fabricação dos veículos do ciclo diesel (BRASIL, 2001).

---

<sup>52</sup> Para maiores detalhes sobre metodologia de mensuração das emissões de poluentes em motores convertidos Dual Fuel vide Orlando (2006)

Algumas pesquisas e iniciativas (LASTRES, 1991; PETROBRAS, 2005A; ORLANDO, 1998; DIESELGAS, 2006; DELPHI, 2005) avançam em soluções alternativas para estas conversões. Este esforço comum busca obter uma queima adequada do gás em motores com Ciclo Diesel, obtendo-se melhores níveis de emissões através de kits de conversão. Todavia, o primeiro passo antes da possível comercialização destes kits é sua própria homologação junto ao IBAMA. Trata-se de um processo complexo, que envolve a obtenção de aprovações também junto a CETESB, o INMETRO e outras autoridades ligadas ao poder público. Esse processo é custoso e poderá consumir algum tempo.

Existem dificuldades já observadas para o enquadramento dos níveis de emissão dos kits Dual Fuel aos parâmetros do CONAMA fase V. Porém, vale a pena relembrarmos que estes deverão atender, em breve, os parâmetros da fase VI (MACHADO, 2004; ORLANDO, 1998). Contudo, os motores Dual Fuel ainda têm um percurso longo de pesquisa tecnológica nos centros universitários, de desenvolvimento industrial e mais todo o processo de homologação e testes. Ainda não foram realizados testes suficientes que comprovem que esses motores possam atender às especificações do CONAMA VI (SANTOS, 2003).

Em 2006, no Brasil, a melhor iniciativa é feita pela empresa de ônibus TREL, no município de Duque de Caxias, onde em janeiro de 2006 iniciou-se um projeto piloto com um sofisticado kit de conversão Dual Fuel de tecnologia da Nova Zelândia (DIESELGAS, 2006). A empresa brasileira CIVIC CORP é sócia do grupo detentor desta tecnologia e busca parcerias para a viabilização do produto no mercado nacional. A necessidade de esses kits serem produzidos aqui no Brasil é fundamental para o desenvolvimento deste potencial mercado. A empresa CIVIC CORP tem buscado encontrar uma solução para este problema, através da parceria direta com algumas das grandes empresas fabricantes de peças e equipamentos nacionais, de forma que os kits possam vir a ser nacionalizados, além, é claro, de a manutenção e assistência técnica dos mesmos poderem ser disponibilizadas com confiabilidade e mão de obra local.

A americana DELPHI tem se lançado também no desenvolvimento da tecnologia Dual Fuel no Brasil. Segundo especialistas e técnicos da empresa, os kits já estarão sendo testados em veículos nos primeiros meses de 2006, passando posteriormente para a fase de homologação dos níveis de emissão junto ao IBAMA (CETESB e INMETRO) até o final deste mesmo ano. A DELPHI acredita poder lançar

o produto no mercado no início de 2007. Acredita-se que o maior desafio seja exatamente a homologação dos níveis de emissão destes possíveis kits (Dual Fuel) de conversão (DELPHI, 2005).

Finalmente, a outra possibilidade real de uso do gás natural em veículos do ciclo diesel é a Ottolisação do motor. Com relação a esta rota tecnológica os desafios não são diferentes. O kit de conversão do motor ciclo diesel para o ciclo Otto também necessitará ser homologado junto ao IBAMA, antes da iniciativa de comercialização dos mesmos. A experiência mais bem sucedida do uso desta tecnologia encontra-se em fase avançada de experimentação na cidade de Porto Alegre – Rio Grande do Sul. A empresa responsável pela fabricação dos Kits é Tomasseto Achile. O kit parece estar plenamente desenvolvido, sendo que a fase de testes dos níveis de emissão foi iniciada no final do ano de 2005 (PETROBRAS, 2005A).

Todo o esforço do PROCONVE tem sido de reconhecer que a emissão de poluentes por veículos automotores contribui significativamente para a deterioração da qualidade ambiental, especialmente nos grandes centros urbanos. A utilização de tecnologias automotivas adequadas, de eficácia comprovada, permite atender as necessidades de controle da poluição; e são necessários prazos adequados para promover a qualidade dos combustíveis automotivos nacionais, permitir o desenvolvimento das tecnologias de motores veiculares. Ambos os itens são necessários para que possamos satisfazer as novas exigências de controle da poluição (PROCONVE, 2004).

Todas as definições e deliberações do PROCONVE aplicam-se sempre ao contexto nacional, englobando as diferentes realidades existentes no país. Porém, anteriormente, a cidade de São Paulo antecipou, em relação à legislação federal, a aplicação dos níveis de emissão do CONAMA V (SANTOS, 2003). Caso essa tradição de vanguarda se mantenha, algumas cidades poderiam antecipar a execução de normas EURO IV (ou CONAMA VI - previstas para 2005 na Europa e 2009 no Brasil). Como já foi mencionado, uma possível antecipação dessas normas para 2007 ou 2008 aumentaria a competitividade de algumas tecnologias, principalmente a dos motores a gás, em relação aos motores a diesel.

É importante perceber que a legislação ambiental não deveria, em si, privilegiar uma ou outra tecnologia. Em uma grande metrópole como Rio de Janeiro ou São Paulo, haveria oportunidades para diferentes tecnologias. Porém, a experiência do

Plano de Alteração de Combustíveis – PAC (O PAC está descrito detalhadamente na página 25), sugere um possível conflito entre flexibilidade tecnológica e necessidade de se adquirir economias de escala (quando se deseja implementar em escala industrial uma nova tecnologia). Este tese aprofundará no capítulo seguinte a discussão sobre o estado-da-arte das diversas tecnologias para ônibus, de forma a elucidar as suas possíveis vantagens em relação ao desempenho ambiental.

A cidade de São Paulo não tem registrado estados de alerta para as concentrações CO ou HC. Os problemas críticos têm sido as concentrações de NOx, MP e ozônio (o qual, por sua vez, relaciona-se com as concentrações de NOx e HC). Os motores a gás natural, mesmo sem catalisador, já atendem, com folga, a todos os limites do PROCONVE V para NOx e MP<sup>53</sup> (SANTOS, 2003).

Já para a região metropolitana do Rio de Janeiro, a FEEMA<sup>54</sup>, em seu relatório anual da qualidade do ar<sup>55</sup>, apresentou o Material Particulado<sup>56</sup> e o ozônio como os principais poluentes atmosféricos com violação dos padrões da qualidade do ar estabelecidos pelo CONAMA<sup>57</sup> (FEEMA, 2004). Todos os outros poluentes atmosféricos<sup>58</sup> encontram-se controlados e abaixo dos níveis estabelecidos pela legislação ambiental vigente.

A observação dos padrões da qualidade do ar nos grandes centros deve, também, sinalizar as medidas de controle dos diferentes tipos de poluentes atmosféricos regulamentados. O gás natural apresenta enorme potencial para a redução dos níveis de Material Particulado Inalável, problema real e relevante já identificado nas regiões metropolitanas de São Paulo e Rio de Janeiro. Além do Material Particulado Inalável o gás natural, em substituição ao diesel, possui, também, grande potencial de redução de Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos

---

<sup>53</sup> A vantagem do gás natural em relação aos motores a diesel é particularmente importante com relação às emissões de materiais particulados. Através de utilização do gás, elimina-se o impacto da fumaça preta mesmo estando o motor desregulado. A emissão de ruídos também é tipicamente mais baixa no ônibus a gás, enquanto as emissões de HCT dos dois motores são análogas ou podem ser superiores no motor a gás. Porém, no ônibus a gás, na composição do HCT, prevalecem as emissões de metano, que são bem menos tóxicas do que aquelas de policíclicos ou aromáticos dos motores a diesel. Já no caso das conversões (kits de Ottolisação e Dual Fuel) observamos uma redução de MP e uma tendência de aumento de CO e HC (ORLANDO, 1998).

<sup>54</sup> Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente

<sup>55</sup> Relatório de 2003 – último relatório anual da qualidade do ar publicado pela FEEMA

<sup>56</sup> Ambos os Materiais Particulados (Totais ou Inaláveis-PM10)

<sup>57</sup> Resolução CONAMA 3/90

<sup>58</sup> NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> e CO

(BALDASSARI, 2005; PELKMANS, 2001; KOENDERS, 1996; HAO et al., 2006; ZHOU, 2006; TZENG et al., 2005; RABL, 2002; RIBEIRO, 2001B; OLIVEIRA, 1997).

Existe na experiência da cidade de São Paulo um grande aprendizado quanto aos aspectos de implementação legal. Ao invés de promover uma dada tecnologia a Prefeitura preferiu uma nova abordagem unilateral, assumindo para si a responsabilidade de apenas obrigar (ou pelo menos induzir) as companhias de ônibus a incorporarem tecnologias de menor potencial poluidor (SPTRANS, 2005).

Atualmente, tem-se chegado a um crescente consenso, por parte dos diferentes atores envolvidos no processo de inovação tecnológica do setor de transporte coletivo urbano, que não cabe ao poder público privilegiar uma tecnologia em particular, mas simplesmente garantir que as normas ambientais sejam definidas com rigor e depois sejam aplicadas (e se façam cumprir), assegurando a qualidade do ar no município e na região metropolitana. Desta forma se estará dando maior flexibilidade aos operadores do transporte público, para que encontrem, de acordo com as suas próprias condições, as soluções mais adequadas para o cumprimento da legislação.

A evolução deste tema revela que novas iniciativas de promoção do uso do gás natural em transporte coletivo não deveriam restringir-se, apenas, a uma decisão de governo municipal, cabendo perfeitamente ao tema sua inserção em uma política nacional de uso do gás natural em frotas urbanas de coletivos. Também, não se pode imaginar que a promoção do ônibus a gás deva justificar-se somente na esfera ambiental. Devem-se encontrar outros argumentos complementares, que legitimem de forma complementar a utilização do gás natural em coletivos urbanos. A questão ambiental poderá fornecer uma boa arena, onde será possível defender o uso mais abrangente de motores a gás em substituição aos atuais motores a diesel. Contudo, a viabilidade técnica-econômica deste processo deve passar, também, pela distribuição dos custos e dos riscos entre todos os possíveis interessados nos benefícios também econômicos e sócio-ambientais envolvidos.

## CAPÍTULO 3 – TECNOLOGIA DEDICADA AO USO DO GÁS NATURAL – OEM<sup>59</sup>

O ônibus a gás natural OEM é fornecido pronto para ser usado a gás, com garantia de fábrica e homologação dos órgãos ambientais, portanto seus fatores de emissão atendem aos limites definidos pela legislação específica. Em alguns casos o veículo é projetado com tecnologia exclusivamente desenvolvida para o uso do GNV, e em outros, o veículo é desenvolvido mediante adaptações feitas pelo fabricante a partir de um modelo a diesel.

No Brasil, a única montadora que disponibiliza ônibus OEM para gás natural é a MBB, equipados com motores do ciclo Otto calibrados em mistura pobre. A CUMMINS produz em sua fábrica, na cidade de Guarulhos, peças de motores para ônibus a gás natural destinadas ao mercado externo, e segundo declarações fornecidas à imprensa por seus executivos, a empresa estaria apta a fornecer motores pesados a gás para o mercado interno, em curto prazo, assim que houver demanda.

### 3.1 - A experiência da Mercedes Benz do Brasil

A MBB iniciou em 1983 o desenvolvimento do motor movido a gás natural veicular (GNV) em função da recomendação do Ministério das Minas e Energia. Com a criação do PLANGAS com o objetivo de substituição do óleo diesel nos centros urbanos não tendo a preocupação com as emissões gasosas, a MBB iniciou o desenvolvimento do motor M352G movido a Biogás, que foi testado na extinta CMTC e depois com a nova geração de motores M366G, o qual foi testado em Natal, culminando na disponibilização de um produto em série no ano 1987 (LUZ, 2001). O motor M366G pode ser considerado como a primeira versão do motor a gás da MBB, e era carburada e com aspiração natural.

A segunda versão foi com o lançamento do motor M366LAG sobre-alimentado com inter-resfriamento (turbo-compressor e inter-cooler) atendendo aos limites de

---

<sup>59</sup> Original Equipment Manufacturer.

emissões gasosas 50% abaixo de EURO II<sup>60</sup>. Para acompanhar a evolução da tecnologia, que era implantada nos motores, foi necessário introduzir modificações também nos componentes mecânicos do motor. Podem-se citar inovações quanto aos materiais e ângulo das válvulas, formatos dos dutos de admissão com nova geometria, pacote de anéis e recursos para arrefecimento nos mancais centrais do turbo compressor (MURARO, 2002). Os conseqüentes aumentos de durabilidade e confiabilidade com estas otimizações de componentes foram demonstrados através de resultados dimensionais após ensaio em banco de provas (dinamômetros) por mais de 2500 horas e diversos testes veiculares (MURARO, 2002).

Todas estas modificações implantadas foram implementadas junto com o avanço da tecnologia de gerenciamento eletrônico do motor M366LAG, para atender as novas exigências de emissões gasosas que surgiram, devido ao crescente apelo ambiental, principalmente nos grandes centros urbanos do país.

Desenvolvimentos adicionais levaram a MBB ao M447hG, motor aspirado com combustão estequiométrica<sup>61</sup> e catalisador de três vias<sup>62</sup>, e a primeira versão do M366LAG, com queima pobre em ciclo aberto (Open-Loop) e catalisador de oxidação. Ambos os motores tinham emissões próximas de 50% das emissões estabelecidas pelo Euro II<sup>63</sup> (HOLLNAGEL et al., 1999).

O desenvolvimento da tecnologia do M366LAG pela empresa culminou, em 1999, com o lançamento do motor eletrônico, com turbo-cooler e injeção em ciclo fechado (closed-Loop) que significou, em termos práticos, no aumento de 50% da potência do motor em relação ao primeiro modelo desenvolvido em 1987 (RIBEIRO, 2001A).

O sistema de ciclo fechado (closed-loop) tem a vantagem de possibilitar adaptações do motor a flutuações na quantidade de metano presente no gás a ser

---

<sup>60</sup> Os níveis de emissão Euro II são equivalentes aos níveis de emissão do PROCONVE Fase IV, os quais entraram em vigência no país no ano de 1998 (PROCONVE, 2004).

<sup>61</sup> Mistura estequiométrica - razão exata de ar/combustível necessária para transformar completamente uma determinada quantidade de combustível em água e CO<sub>2</sub>.

<sup>62</sup> Catalisador de três vias - reator catalítico para motores de combustão. Promove a oxidação de compostos orgânicos voláteis e monóxido de carbono, bem como promove a redução dos óxidos de nitrogênio (OCDE/IEA, 1999). A MBB produz este ônibus a gás para exportação com motor estequiométrico e catalisador, que tem custo mais elevado, tornando-o menos competitivo no mercado brasileiro, mas seu desempenho de emissões é melhor que o de mistura pobre usado no Brasil.

<sup>63</sup> Os limites estabelecidos pelo EURO - II são: NO, 7,0 g/kWh; PM 0,15 g/kWh; CO 4,0 g/kWh; HC 1,1 g/kWh (FARAH, 2001).

queimado. Este sistema detecta variações na razão ar/combustível, através da medição da quantidade de oxigênio presente nos gases de exaustão. Com isso, pode ser feita automaticamente a correção de combustível injetado, diminuindo amplamente as possíveis influências da modificação da composição do gás (HOLLNAGEL et al., 1999).

Segundo informações cedidas, também, pela MBB, através da figura 1, o desenvolvimento dos motores a gás natural de queima pobre<sup>64</sup> (LEAN BURN) objetivou, dentre outros fatores, a diminuição dos níveis de emissão de NOx (LUZ, 2001; HOEKSTRA, 1995). O fator lambda utilizado no projeto dos motores de terceira geração da MBB era de  $\lambda = 1,5$ <sup>65</sup> (MURARO, 2004).

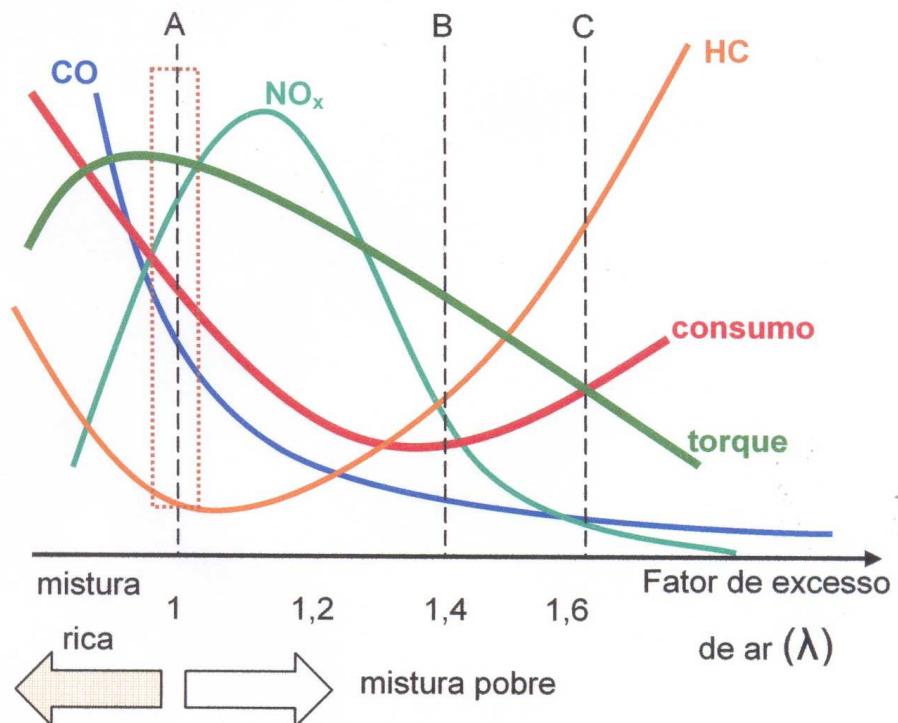
A variação típica dos parâmetros de emissões, desempenho e consumo do ônibus a gás natural com motor em ciclo Otto, em função do fator  $\lambda$  pode ser visualizada na figura 1.

Os motores LEAN-BURN costumam ser ajustados em torno do ponto “B” (vide figura 1), com  $\lambda$  igual a 1,4, que é um ponto ótimo de consumo e emissão de CO. É em torno deste ponto que são calibrados os ônibus a gás natural OEM LEAN-BURN fabricados no Brasil pela MBB, destinados ao mercado interno. Com essa ajuste, o ônibus trabalha numa faixa de menor emissão de NOx e é disponibilizado sem catalisador, reduzindo o custo final do veículo.

---

<sup>64</sup> Os motores a gás natural de queima pobre vêm sendo desenvolvidos de forma mais ampla no mercado de motores. Esses motores têm sido preferíveis àqueles de queima estequiométrica pelo fato de possuírem maior eficiência energética (PELKMAN, 2001). Para quadro comparativo das diferenças entre motores do ciclo diesel e motores a gás natural vide o próximo capítulo: Tecnologia Dual Fuel.

<sup>65</sup> Teoricamente, para possibilitar a combustão completa de um combustível é necessário fornecer uma quantidade de ar tal que o oxigênio nele contido seja o mínimo suficiente para garantir a queima total do combustível, sendo que esta quantidade de ar é a requerida pela estequiometria da combustão. No entanto, para otimizar o desempenho de seus motores alguns fabricantes injetam nos motores mais ar do que o mínimo requerido pela estequiometria. A relação A/C (Ar/Combustível) utilizada no motor em comparação com a A/C estequiométrica é denominada  $\lambda$  (OLIVEIRA, 1997). Assim, se o motor opera nas condições estequiométricas, trabalha com  $\lambda = 1$ . Valores superiores a  $\lambda = 1$  indicam que o motor opera com misturas pobres, ou seja, trabalham com excesso de ar (RIBEIRO, 2001B).

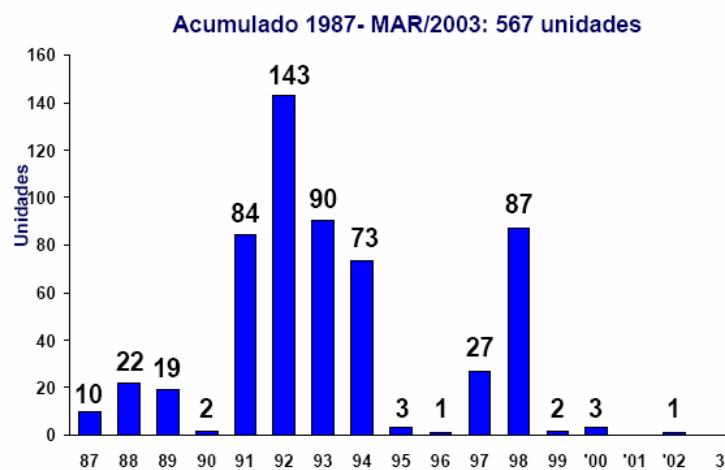


Fonte: (NYLUND, 2000, LAGE, 2005, MURARO, 2004, BOSCH 1997)

Figura 1: Variação de parâmetros do motor a gás natural em função do fator lambda -  $\lambda$

Sem o uso de catalisador, o controle da mistura ar/combustível do motor deve ser preciso, sob pena de ocorrer deslocamento do fator  $\lambda$  para valores menores, elevando enormemente a emissão de  $\text{NO}_x$ . Por outro lado, misturas excessivamente pobres ( $\lambda > 1,6$ ) causariam instabilidade na combustão e emissões elevadas de HC.

As figuras 2 e 3 mostram o comportamento do mercado interno, e externo, de comercialização de motores a gás natural dedicado fabricados no Brasil pela Mercedes Benz.



Fonte: (MURARO, 2004)

Figura 2: Gráfico das Exportações de Veículos Dedicados - Mercedes Bens do Brasil



Fonte: (MURARO, 2004)

Figura 3: Gráfico das Vendas Internas de Veículos Dedicados - Mercedes Bens do Brasil

As figuras 2 e 3 ilustram o mercado dos ônibus a gás natural fabricados no Brasil desde 1987. Como se pode observar, a produção e comercialização apresentaram grandes variações entre os anos considerados. A falta de um mercado firme de veículos a gás natural, principalmente no país, vem desestimulando a MBB a continuar seu programa de desenvolvimento e fabricação de motores a gás natural no Brasil.

Mais de 20 anos de desenvolvimento tecnológico já foram dispensados pela MBB ao motor a gás. A empresa aqui no Brasil tem recebido comitivas de uma série de grandes cidades, todas preocupadas com a questão de poluição do ar (incluindo Sidney, Austrália, para a qual a MBB enviou ônibus a gás durante os Jogos Olímpicos; e Atenas, Grécia, onde o problema de manutenção do patrimônio arquitetônico histórico é prioritário) (SANTOS, 2003).

Apesar de todos os esforços e investimentos realizados pela MBB no desenvolvimento tecnológico dos motores a gás, as duas primeiras gerações desses motores apresentaram vários problemas, que acabaram comprometendo a imagem do produto no Brasil. Vale a pena ressaltar que o produto fornecido pela MBB no Brasil não era o mesmo produto oferecido no mercado internacional. Neste texto procurou-se abordar os detalhes da evolução tecnológica destes motores, bem como alguns dos principais problemas associados aos mesmos. Parte dos insucessos alcançados em experiências com ônibus a gás natural no Brasil pode ser creditado à tecnologia, ainda não madura, dos primeiros ônibus gás natural fabricados e comercializados no Brasil.

Na época dos motores de primeira geração, desenvolvidos inicialmente através da parceria mantida entre MBB e CMTC, muitos dos problemas técnicos ocorridos estavam relacionados ao fornecimento de gás inadequado à aplicação veicular. A potência inadequada do motor, para o tipo de utilização na cidade de São Paulo, também foi outro fator negativo. As principais dificuldades técnicas destes motores são apresentadas na tabela 11 (SPTRANS, 2005).

Tabela 11: Dificuldades Técnicas - Motor a Gás - Primeira Geração- 1990/93

<b>Dificuldades Técnicas</b>	<b>Providências Adotadas</b>
Baixa potência – Perda de rendimento em aclives	Melhor especificação do gás para uso veicular
Carbonização com pré-ignição e detonação em alguns motores	Descarbonização dos motores
Baixa eficiência do kit do sistema de alimentação	Novo Kit para o sistema de alimentação
Vários problemas com conjuntos periféricos ao motor	Desenvolvimento de um novo lubrificante e instalação de filtros nas unidades compressoradas

Fonte: (SPTRANS, 2005)

Soluções foram propostas, mas os problemas não deixaram de ser muito relevantes, dificultando a sua operacionalização nas condições da cidade de São Paulo. A partir de 1995, a MBB iniciou o desenvolvimento de um motor de segunda geração. Houve um aumento da potência e do torque máximo do motor. Substituiu-se a aspiração carburada (de elevadas emissões de NOx) por um sistema turbinado (de baixa emissão de NOx). Na tabela 12, apresenta-se uma rápida comparação entre os motores de primeira e segunda geração.

Tabela 12: Características dos Motores a Gás – Primeira e Segunda Geração

<b>Tipo de Motor</b>	<b>1<sup>a</sup> Geração</b>	<b>2<sup>a</sup> Geração (M366 LAG)</b>
Alimentação	Aspirado	Turbo com pós-resfriador
Potência	150 cv	250 cv
Torque Máximo	420 Nm	720Nm
Ignição	Vela/Bobina/Distribuidor	Ignição eletrônica – Operação s/ Catalisador

Fonte: (MURARO, 2004)

Durante a implementação do PAC em São Paulo<sup>66</sup>, a MBB já ofereceu os motores de segunda geração. Alguns empresários da área de transporte seduziram-se com a oportunidade de promover um salto tecnológico em suas frotas. A MBB apresentou a sua nova opção de ônibus a gás dentro de um contexto de modernidade. Haveria sistemas de monitoramento e planejamento da manutenção on-line para os veículos. O fabricante do motor tornar-se-ia um verdadeiro parceiro da companhia operadora do ônibus (SPTRANS, 2005).

Contudo, muitas das expectativas colocadas sobre os veículos com motores a gás de segunda geração provaram-se incapazes de serem concretizadas. A MBB promoveu o seu novo produto como um projeto acabado e revolucionário. Porém, os problemas operacionais ainda foram significativos, representando custos muito elevados para os operadores (SPTRANS, 2005).

Nos motores de segunda geração, alguns componentes tiveram problemas graves de durabilidade, como foi o caso da turbina. Com freqüência, ocorria o superaquecimento do motor, gerando defeitos no sistema elétrico do veículo e

<sup>66</sup> A experiência do Plano de Alteração de Combustível – PAC foi descrita em detalhes no capítulo anterior intitulado *Contextualização e Experiências Existentes*.

obrigando a interrupção do serviço. Muitas vezes, o ônibus chegou a permanecer parado durante vários dias, pois havia grandes dificuldades para o suprimento de peças sobressalentes (SPTRANS, 2005).

Apesar de todos os esforços que a MBB realizou, para dotar os motores de segunda geração de um patamar tecnológico adequado às condições de operação similar ao diesel, alguns componentes do sistema apresentaram problemas de aplicação e durabilidade. Considerando o estado-da-arte destes motores, pode-se deduzir que os ônibus a gás ainda sejam mais delicados e sensíveis que os ônibus a diesel<sup>67</sup>. A MBB fornece muitos ônibus para a Europa e seria interessante obter informações sobre as possíveis diferenças entre os modelos de motores exportados e aqueles encontrados no mercado nacional.

Em 2006 as incertezas tecnológicas ainda não parecem totalmente sanadas. A MBB clama já possuir um motor de terceira geração totalmente desenvolvido e pronto para suprir qualquer novo programa de ônibus a gás que se procure implementar. Todavia, novos testes precisarão trazer essa confirmação. Há enormes reservas, atualmente, por parte dos empresários de transporte sobre o que possa ser a tecnologia de motores Dedicados a gás natural no Brasil (SPTRANS, 2005).

Com base nas experiências passadas deve-se reconhecer que a MBB sempre mostrou grandes dificuldades em transformar o seu motor a gás em um produto comercial competitivo e confiável.

Faz-se necessário uma maior experimentação desta nova geração de motores a gás com o objetivo da total eliminação das dificuldades técnicas que marcaram as versões de primeira e segunda geração. Na tabela 13, resumem-se algumas das principais características dos motores de terceira geração em relação às versões anteriores.

---

<sup>67</sup> Essa colocação aplica-se à experiência nacional com motores a gás natural da montadora MBB. Existem outras experiências com motores fabricados em outros países. Algumas serão apresentadas neste capítulo ainda.

Tabela 13: Evolução Tecnológica em Direção ao Motor a Gás de Terceira Geração da MBB

<b>2.1.1.1.1 Histórico Tecnológico</b>
<b>Primeira Geração - Motor M366G</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aspiração Natural, Mistura Próxima à Estequiométrica</li> <li>- Formação de Mistura por Carburador Elementar</li> <li>- Sistema de Ignição com Distribuidor</li> <li>- Sem controles Eletrônicos</li> </ul>
<b>Segunda Geração - Motor M366 LAG M96</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mistura Pobre( Lambda : 1,50 - 1,65)</li> <li>- Turboalimentação com Pós-Resfriador de Ar</li> <li>- Controle de Rotação de Marcha-Lenta pela Borboleta de Aceleração</li> </ul>
<b>Terceira Geração - Motor M366LAG M99</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Injeção Eletrônica Multi-Injetor / Monoponto</li> <li>- Controle de Mistura com Sonda Lambda de Banda Larga ( UEGO Sensor)</li> <li>- Sistema de Aceleração Integrado ao Gerenciamento do Motor</li> <li>- Novas Estratégias de Proteção do Motor<sup>68</sup></li> <li>- Waste-Gate com Controle Eletropneumático</li> <li>- Bobinas de Ignição Individuais</li> <li>- Sistema Originalmente Projetado para 24 V</li> </ul>
<p>Conquistas em Relação à Primeira Geração:</p> <p>Potência aumentada em mais de 50%</p> <p>Emissões reduzidas em:</p> <p>NOx - 88%</p> <p>CO - 86%</p> <p>HC – 26%</p>

Fonte: (MURARO, 2004)

Aparentemente, em suas experiências passadas, a MBB não desenvolveu testes suficientes para verificar o desempenho dos motores a gás nas situações reais de operação do trânsito de cidades como São Paulo e Rio de Janeiro (ou pelo menos os motores não foram completamente preparados para enfrentar um trânsito local que piorou significativamente nos últimos dez anos). A MBB acabou aprendendo junto com as “garagens”, vivenciando os seus problemas reais, principalmente com as situações

<sup>68</sup> Sistema de diagnose que identifica as principais falhas mecânicas do motor. O objetivo é evitar que pequenas falhas não identificadas pelo operador possam transformar-se em problemas de magnitude maior, tais como: motor fundido por falta de óleo lubrificante ou outros fatores de manutenção.

relacionadas ao uso dos ônibus de primeira e segunda geração. Contudo, o custo desse aprendizado não foi partilhado de maneira equilibrada (SPTRANS, 2005).

Em uma fase inicial do PAC, a MBB procurou estabelecer verdadeiras parcerias com as companhias que adquiriam o ônibus a gás de segunda geração. Porém, como o PAC não evoluiu conforme esperado, a atração pelo mercado reduziu-se e a MBB deixou de estar tão presente. Na percepção das “garagens”, a MBB não fez tudo que podia (ou devia) para resolver os problemas da nova tecnologia (SPTRANS, 2005).

Nunca houve um sistema de substituição rápida de ônibus paralisados, os prazos de manutenção podiam estender-se indefinidamente, por falta de peças ou profissionais capacitados, não havendo, por parte da MBB, um apoio técnico de longo prazo (SPTRANS, 2005).

Além disso, na percepção da maior parte das companhias de transporte, a MBB insistiu em uma tecnologia antiga e de baixa potência. Afirmava-se que a montadora recusava-se a fornecer para o mercado nacional motores de maior potência, com cerca de 300 cv, já utilizados em alguns países da Europa. A MBB defende-se garantindo que a potência dos motores a gás de segunda geração era idêntica aos similares a diesel, que eram utilizados nos ônibus brasileiros (SPTRANS, 2005).

Ademais, os motores a gás de maior potência, utilizados em algumas cidades europeias, somente poderiam ser utilizados em ônibus com piso baixo, cuja implementação nas cidades brasileiras tende a ser bastante difícil, dadas as condições das vias que devem ser percorridas pelos ônibus e os problemas associados à revenda destes veículos a outros municípios menores.

A MBB considera que o seu motor a gás de terceira geração encontra-se maduro, tendo sido reduzidas as necessidades de novos avanços tecnológicos (MURARO, 2004). Teoricamente, ele poderia se constituir numa base tecnológica sustentável, e robusta, para o lançamento de um novo programa de ônibus a gás no Brasil. Todavia, não tendo obtido os registros dos testes que comprovam a capacidade do motor de superar as condições inadequadas do trânsito de grandes cidades, é razoável a comum posição de precaução assumida pelos empresários de ônibus.

Novas pesquisas ainda são necessárias para comprovação de que os problemas do passado estão completamente sanados

Uma das grandes vantagens do motor a gás ainda assenta-se na questão ambiental. Contudo, vale lembrar, como será destacado no capítulo 6 desta dissertação, que os motores a diesel têm evoluído bastante nas últimas décadas, sempre no sentido de atender aos padrões cada vez mais restritos de emissões de gases para o meio ambiente<sup>69</sup>. Além disso, a incorporação de elementos eletrônicos faz desses ônibus equipamentos mais confortáveis, menos barulhentos e poluidores, porém mais caros. Será importante aprofundar essa pesquisa no sentido de se avaliar, em cenários de longo prazo, as possíveis condições de competição entre os ônibus a gás e a diesel. O objetivo do capítulo final deste trabalho será avaliar os possíveis cenários de viabilidade técnica e econômica da inserção de gás natural em frotas de coletivos urbanos, em especial na cidade do Rio de Janeiro. Serão analisadas, também, as viabilidades econômicas do uso do gás natural em veículos Dedicados e do uso de diesel S50 em motores diesel modernos (motores eletrônicos e dispositivos de pós-tratamento dos gases – filtro de particulado, recirculação de gases e seletor catalítico seletivo).

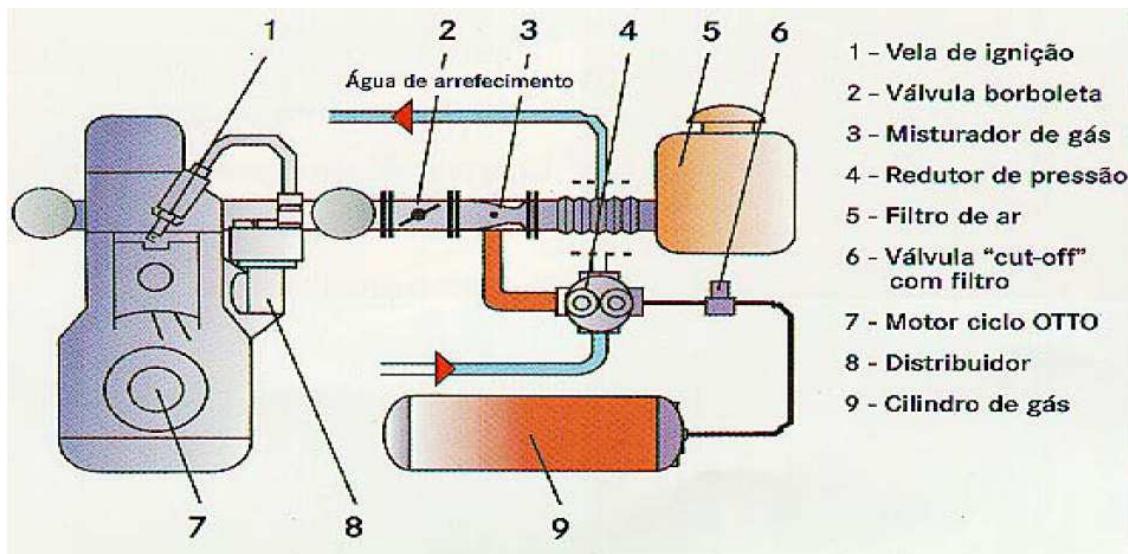
À guisa de detalhamento da tecnologia dedicada, será apresentada a seguir uma breve descrição da evolução tecnológica percebida no desenvolvimento das três gerações de motores fornecidos pela MBB.

### **3.1.1 - O Motor de 1<sup>a</sup> Geração**

O motor a gás natural de primeira geração da MBB apresentava seus dispositivos de injeção totalmente mecânicos. O esquema da figura 4 ilustra os principais dispositivos do primeiro motor a gás natural dedicado no Brasil.

---

<sup>69</sup> Os veículos pesados movidos por óleo diesel estão sendo fabricados com gerenciamento eletrônico da injeção. No Brasil os primeiros ônibus urbanos a diesel com gerenciamento eletrônico entraram no mercado brasileiro em 1998, através da MBB. Depois da inserção dos modernos modelos de motores eletrônicos surgem, também, os dispositivos de pós-tratamento dos gases (filtro de particulados, catalisadores de oxidação e recirculação de gases da combustão e Redutor catalítico seletivo – SCR).



Fonte: (MERCEDES BENZ, 2000)

Figura 4: Esquema básico do motor aspirado

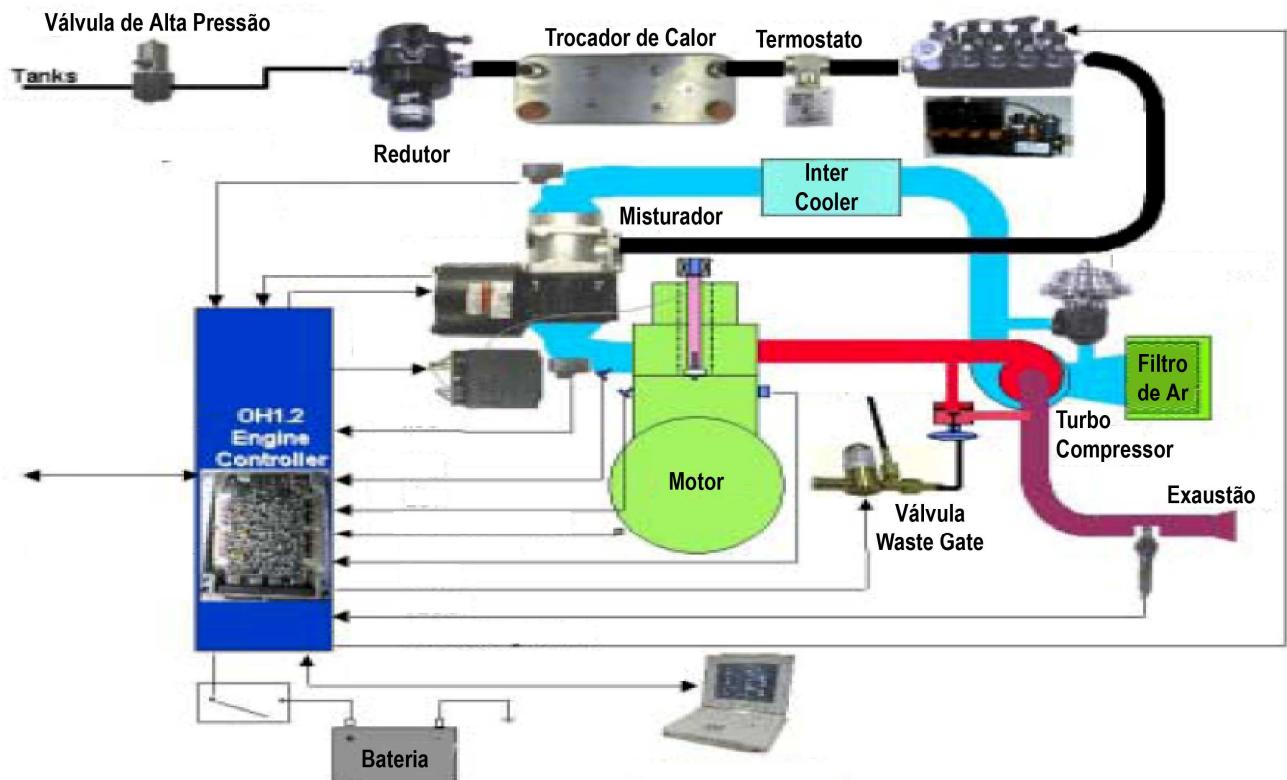
As principais modificações implantadas nesse tipo de motor foram: cabeçote, válvulas (admissão e escape), pistões e anéis, além dos dispositivos eletrônicos que passaram a compor as gerações seguintes (LUZ, 2001).

### 3.1.2 - O Motor de 2<sup>a</sup> Geração

A segunda fase do projeto foi o lançamento do motor M366LAG ( $\lambda=1.50$ ) com gerenciamento eletrônico objetivando a mesma durabilidade e desempenho dos atuais motores Diesel OM366 LA, sendo sobre-alimentado com inter-resfriamento, com o nível de emissões gasosas limitado em 50% dos valores permitidos pela legislação europeia EURO II. Aplicou-se nesse motor o conceito de durabilidade long-life e baixo custo de manutenção (HOLLNAGEL et al., 1999). Os passos dados com o motor de segunda geração foram essenciais para o lançamento do motor de terceira geração, versão disponível comercialmente pela MBB em 2006.

### 3.1.3 - O Motor de 3<sup>a</sup> Geração

Na terceira fase do desenvolvimento do M366LAG, há a introdução de novo gerenciamento eletrônico da firma Woodward em sistema de injeção positiva de gás e closed-loop com sensor UEGO em malha fechada (MURARO, 2004).



Fonte: (MURARO, 2004)

Figura 5: Esquema básico do gerenciamento eletrônico com componentes principais do motor M366LAG com sistema de gerenciamento OH-I com mistura pobre (Lean –Burn Control System).

A tabela 14 trás os principais itens de inovação desta tecnologia, bem como as especificações de operação da mesma.

Tabela 14: Principais características do motor de terceira geração

<b>2.1.1.1.1 Principais Características Técnicas</b>
-Nº de cilindros / disposição: 6 em linha / vertical
-Diâm. do cilindro / curso: 97,5 mm / 133 mm
-Cilindrada: 5958 cm <sup>3</sup>
-Relação de compressão: 12,0 : 1
-Potência Máxima-Conf. NBR ISO 1585 ( kW @ 2600 1/min. ) : 170
-Torque Máximo -Conf. NBR ISO 1585 (Nm @ 1560 1/min.): 720
-Consumo específico mínimo : 198 g/ kW. h @ 1370 1/min.
-Desempenho semelhante ao motor Diesel.
-Eficiência energética próxima à do motor Diesel. <sup>70</sup>
-Cabeçote semelhante ao do motor Diesel (HIGH SWIRL).
-Bobinas de ignição individuais.
-Sistema de ignição: 24 Volts
<b>Gerenciamento Eletrônico:</b>
-Ignição eletrônica digital mapeada de alta energia.
-Sistema de diagnóstico de falhas.
-Controle eletrônico de mistura Lambda 1,50 (LEAN BURN).
-Sistema CLOSED - LOOP com sonda UEGO.
-Injeção eletrônica de gás (SINGLE POINT).
-Sistema de proteção do motor.
-Sistema LIMP-HOME.
-Controle eletrônico de aceleração.
<b>Durabilidade:</b>
-Conceito LONG LIFE (óleo ,velas ).
-Baixo custo de manutenção.
<b>Emissões Gasosas Reduzidas.</b>
-50% abaixo de Euro II (NMHC)

Fonte: (MURARO, 2004)

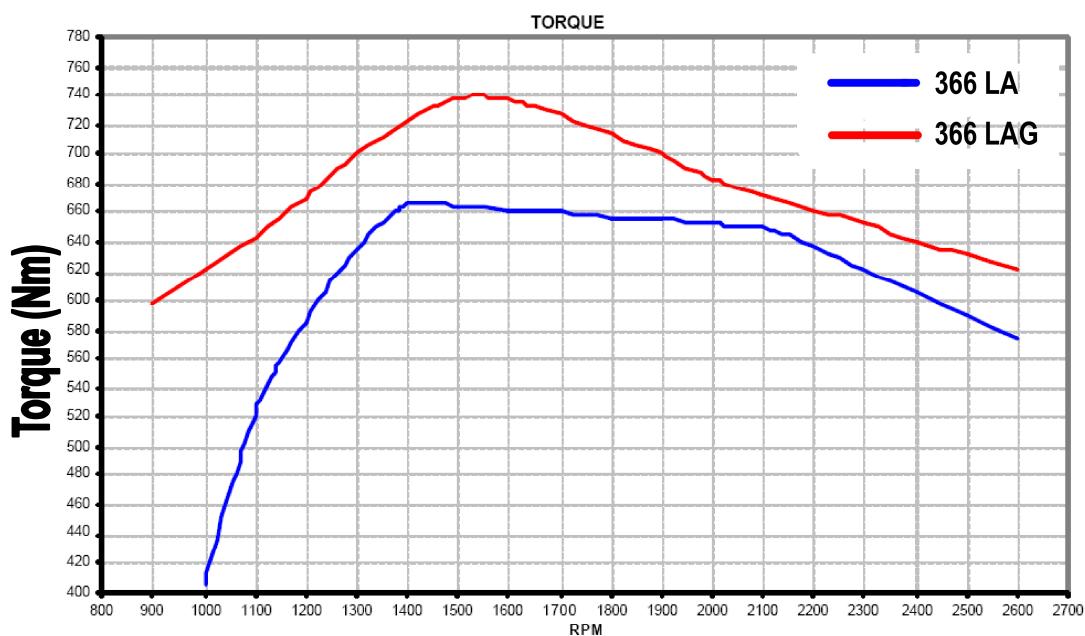
<sup>70</sup> Para rendimentos térmicos dos motores a gás natural em comparação aos motores diesel vide capítulo Tecnologia Dual Fuel. Para autonomia dos veículos a gás natural em comparação aos veículos diesel vide capítulo final Cenários de Viabilidade Econômica.

Com esta visão, o desenvolvimento do M366 LAG objetivou a obtenção de desempenho e durabilidade equivalente a dos atuais motores Diesel turbo - alimentados com inter-resfriamento (MURARO, 2004).

Para acompanhar a evolução da tecnologia empregada na nova versão de motor, foi necessário o desenvolvimento de novos componentes mecânicos, bem como a mudança dos materiais empregados. As principais peças que sofreram modificações em comparação ao motor da versão da segunda fase foram: cabeçote, válvulas, novos ângulos da sede, anéis e recurso de arrefecimento nos mancais centrais do turbo compressor (MURARO, 2004).

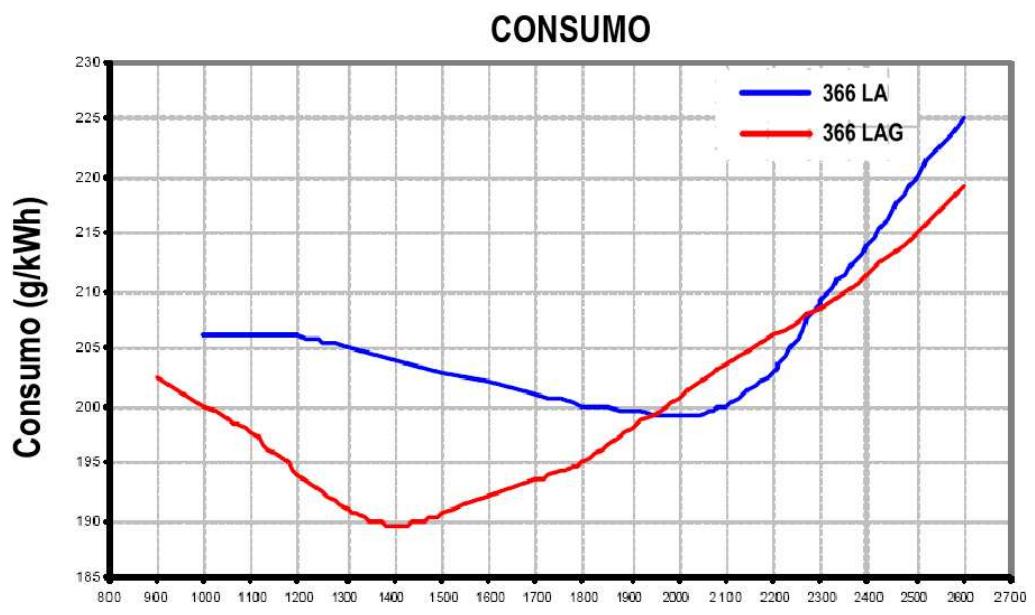
Após testes de durabilidade por mais de 2.500 horas em banco de provas, foi observado que os desgastes dos componentes mecânicos atendiam às exigências de durabilidade da MBB (MURARO, 2004).

Os gráficos 6, 7 e 8 comparam as curvas de torque, consumo específico e potência entre o motor Dedicado a gás natural da Mercedes de terceira geração (M 366 LAG) e o motor diesel Mercedes similar (OM 366LA).



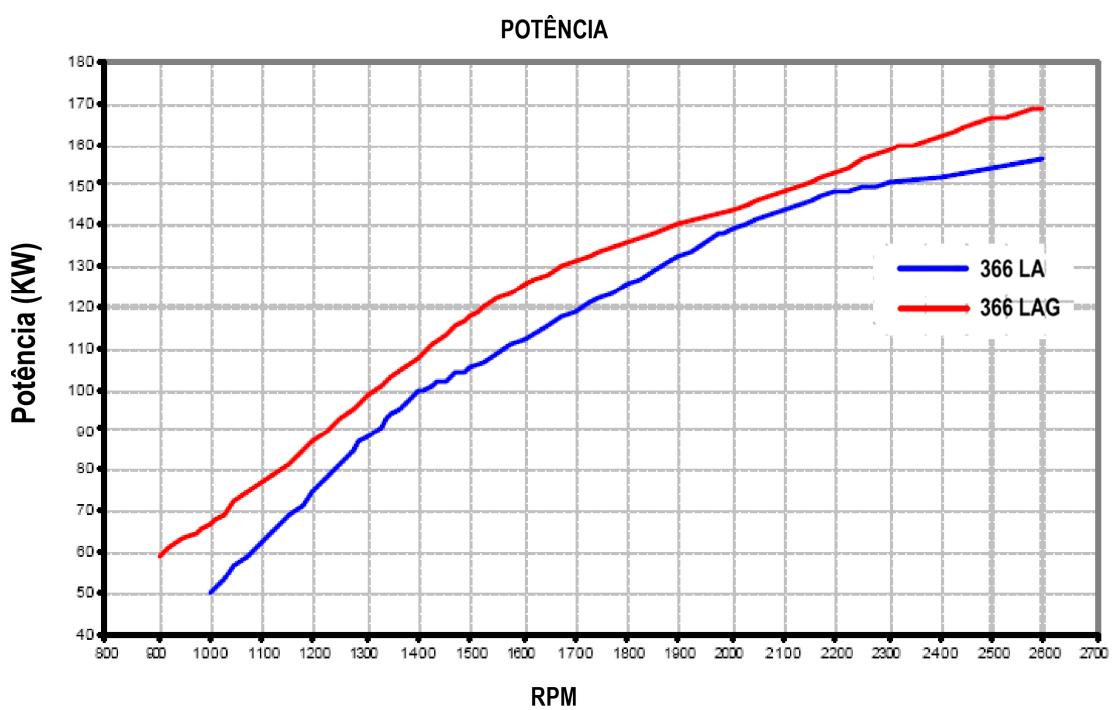
Fonte: (PETROBRAS, 2005A)

Figura 6: Comparação entre as curvas de torque – motor diesel e motor dedicado ao gás natural.



Fonte: (PETROBRAS, 2005A)

Figura 7: Comparação entre as curvas de consumo específico – motor diesel e motor dedicado ao gás natural.



Fonte: (PETROBRAS, 2005A)

Figura 8: Comparação entre as curvas de potência – motor diesel e motor dedicado ao gás natural.

Como se pode observar, as curvas de consumo específico, torque e potência nominal do motor a gás natural dedicado fabricado pela MBB estão hoje em condições similares, e até melhores, do que aquelas apresentadas para os motores do ciclo diesel convencional. Isso significa que estes motores Dedicados a gás natural podem ser comercializados hoje para as condições de operação de transporte convencional, não havendo, aparentemente, problemas relacionados às especificações e limitações dos motores quanto a desempenho e consumo específico.

### **3.2 - Outras experiências com motor Dedicado no Brasil**

Existem outros dois projetos experimentais com motores Dedicados ao uso do gás natural em coletivos urbanos no Brasil<sup>71</sup>. A montadora VOLKSWAGEN tem desenvolvido testes com chassis equipados com um motor a gás natural da CUMMINS WESTPORT<sup>72</sup> e um outro chassis equipado com motor MWM. Ambos os experimentos ainda não foram concluídos, sendo que os resultados finais não foram disponibilizados para avaliação pública.

O veículo com motor CUMMINS encontra-se em operação na cidade de São Paulo dentro da empresa de ônibus GATO PRETO. O veículo trafega há aproximadamente 15 meses<sup>73</sup> na linha 7281 (Praça Ramos-Lapa) percorrendo aproximadamente 170 km/dia. O veículo roda sob autorização da SPTRANS, sendo que até agosto de 2006 rodou aproximadamente 40.000 km, sem apresentar nenhuma falha mecânica. Destaca-se aqui uma situação importante quando da comparação da tecnologia analisada CUMMINS com os motores Dedicados fabricados nacionalmente pela montadora MERCEDES BENZ.

O veículo com motor CUMMINS tem se mostrado extremamente confiável do ponto de vista técnico-operacional, e, segundo informações da própria empresa operadora, não houve sequer uma parada por motivo de falha mecânica do equipamento, parando-se o veículo, apenas, nos momentos de manutenção programada, tal qual os motores do ciclo diesel dedicados. Este fato corrobora a

---

<sup>71</sup> Projetos iniciados entre 2005 e 2006

<sup>72</sup> Desde 2001 a CUMMINS WESTPORT já comercializou no mercado internacional mais de 4.000 unidades do mesmo modelo de motor que vem sendo testado na cidade de São Paulo, a saber: Modelo C GAS PLUS de 250 hp (CUMMINS, 2005A).

<sup>73</sup> O projeto iniciou-se nos primeiros meses de 2005

estimativa de alguns estudos relacionados aos custos de manutenção dos motores Dedicados ao gás natural, em comparação com seu similar diesel. Podem-se esperar, custos com manutenção dos motores Dedicados ao gás natural bem próximos, ou equivalentes, àqueles relacionados aos motores diesel convencionais (WEIDE, 2001).

Um outro teste também conduzido pela VOLKSWAGEN está sendo realizado na cidade do Rio de Janeiro dentro da empresa operadora REAL. O motor que vem sendo testado é ainda um protótipo de motor da empresa MWM. Os resultados dos testes ainda não estão abertos, todavia os experimentos acima alimentam a expectativa existente sobre a viabilidade técnica e econômica da inserção do gás natural no setor de transporte público de passageiros. É importante para esse setor contar com a inserção de tecnologias maduras<sup>74</sup>, testadas e já adotadas em outros países ao redor do mundo, bem como receber investimentos para o desenvolvimento de novos produtos nacionais como assim vem fazendo a MBB desde a década de 80 e, mais recente, a MWM, através da VOLKSWAGEN, com seu protótipo de motor Dedicado a gás natural em testes na cidade do Rio de Janeiro.

Em outros países os ônibus a gás natural dedicados (OEM) são fornecidos por diversos fabricantes. Nos EUA o mercado é atendido pela CUMMINS, que produz motores em ciclo Otto e com mistura pobre (46% do mercado), DETROIT DIESEL (52% do mercado), JOHN DEER e outros (FILHO, 2006). A IVECO atende a Itália e outros países da Europa com motores em ciclo Otto e mistura estequiométrica. A VOLVO atende ao mercado sueco com motores em ciclo Otto e mistura pobre.

### **3.3 – Custos associados à tecnologia Dedicada no Brasil**

O preço de aquisição de um ônibus novo divide-se em: preço do chassi e preço da carroceria. A MBB possui um chassi para ônibus dedicado ao uso de gás natural veicular (Motor M 366 LAG Eletrônico – Chassi OH 1623 LG). Será utilizado o preço médio de uma carroceria da empresa MARCOPOLLO para a complementação do preço final do veículo a gás natural dedicado. Por não existir ainda no Brasil a fabricação de outros motores pesados a gás natural para o uso em coletivos, serão considerados, apenas para fins de análise de viabilidade econômica, os valores referentes à

---

<sup>74</sup> Exemplo das gerações de motores CUMMINS Dedicados ao gás natural

tecnologia MBB disponível atualmente<sup>75</sup> no mercado nacional. É razoável a hipótese de se considerar improvável a comercialização de motores importados a custos menores do que aqueles oferecidos pelo mercado nacional, não se esquecendo dos custos com manutenção e assistência técnica necessários à operação destes veículos no seu período de vida útil de operação. Os Motores CUMMINS<sup>76</sup>, IVECO e MWM, DETROIT DIESEL, GM, JOHN DEER, MACK, CATERPILAR não serão considerados na análise de viabilidade econômica devido à sua condição atual de não nacionalização da produção.

Tabela 15: Preço de um veículo dedicado ao gás natural.

	<b>CUSTO</b>
Chassi OH 1623 LG - Motor M 366 LAG Eletrônico (MERCEDES)	R\$ 210.000,00
Carroceria MARCOPOLO ( Modelo Torino 1722, 12,5 metros)	R\$ 100.000,00
<b>TOTAL</b>	R\$ 310.000,00 <sup>77</sup>

Fonte: (FETRANSPOR, 2006)

Para o estabelecimento da relação entre os preços de aquisição de um ônibus a gás natural e de um ônibus a diesel, faz-se necessária a compreensão do fato de o ônibus a gás fornecido pela MBB não ser um veículo convencional. De forma geral, os veículos a diesel que operam o transporte público de passageiros em cidades como o Rio de Janeiro são, em sua maioria, veículos convencionais (suspensão por feixe de mola e motor dianteiro). O veículo a gás natural dedicado fornecido pela MBB pode ser considerado um veículo não convencional por possuir suspensão eletromecânica e motor traseiro. Por esta razão, será estabelecida a comparação entre o veículo a gás disponível pela MBB com um veículo a diesel convencional, uma vez ser este o veículo diesel normalmente adquirido pelo setor empresarial para a operação de seus serviços. As tabelas 16 e 17 trazem a relação de custos de um veículo a diesel convencional e a diferença entre os preços finais de um veículo a gás natural no Brasil (tecnologia MBB) e os veículos diesel convencionais.

<sup>75</sup> Ano de 2006

<sup>76</sup> O preço do motor Dedicado a gás natural da empresa CUMMINS WESTPORT série C foi apresentado pela VOLKSWAGEN, em agosto de 2006, como sendo de U\$ 22.000,00 FOB. Este é apenas o custo do motor (sem chassi e sem carroceria).

<sup>77</sup> Preço considerado em janeiro de 2006.

Tabela 16: Preço de um veículo a diesel convencional.

	CUSTO
Chassi OF 1722 - OM 924 Eletrônico (MERCEDES)	R\$ 130.000,00
Carroceria MARCOPOLO ( Modelo Torino 1722, 12,5)	R\$ 100.000,00
<b>TOTAL</b>	<b>R\$ 230.000,00<sup>78</sup></b>

Fonte: (FETRANSPOR, 2006)

Tabela 17: Diferença de Preço entre um ônibus a gás natural  
e um ônibus diesel convencional.

	CUSTO
ÔNIBUS A GÁS NATURAL	R\$ 310.000,00
ÔNIBUS A DIESEL CONVENCIONAL	R\$ 230.000,00
<b>DIFERENÇA TOTAL</b>	<b>R\$ 80.000,00</b>

Isso significa que o ônibus Dedicado ao gás natural custa 35% a mais que um ônibus diesel convencional, no Brasil. Todavia, é importante relembrar que a comparação realizada foi feita para veículos diesel convencionais (suspensão feixe de mola e motor dianteiro). Se a comparação for feita entre veículos similares tem-se que o custo do ônibus Dedicado será 19% superior ao veículo diesel similar (suspensão eletro-pneumática e motor traseiro). De fato este é um indicador de sobre-custo do ônibus dedicado também similar àqueles apresentados em estudos internacionais. Segundo Jackson et al (2005) o custo dos veículos a gás natural no mercado americano, comparados com seus similares diesel, seria 20% superior.

O custo de manutenção de um ônibus dedicado ao uso do gás natural tem sido considerado, no Brasil, com sendo mais elevado do que o seu similar diesel convencional (SANTOS, 2003). Esse fato se justifica principalmente pela maior escala de produção dos veículos diesel no Brasil. Porém, devem-se considerar, também, as experiências anteriores com o ônibus Dedicado da MBB, as quais demonstraram uma maior fragilidade dos veículos Dedicados em relação aos veículos diesel convencionais. Esses fatores são a justificativa da possível previsão de maior custo de manutenção dos veículos Dedicados ao uso do gás natural veicular no Brasil<sup>79</sup>.

<sup>78</sup> Preço considerado em janeiro de 2006.

<sup>79</sup> Alguns estudos internacionais vêm demonstrado que os custos com manutenção dos ônibus a gás natural Dedicados podem ser bastante similares aos custos com manutenção dos veículos do ciclo diesel convencionais (WEIDE, 2001; BALASSIANO, 1997).

A SPTRANS, em São Paulo, realizou um levantamento de dados durante todo o ano de 2000, junto à empresa de transporte GATUSA, avaliando os custos de manutenção (peças e acessórios) da sua frota de ônibus dedicados a gás natural. Considerando apenas os custos de insumos, peças e acessórios, a frota a gás apresentou um custo médio 182% superior em relação à frota de diesel<sup>80</sup> (SANTOS, 2003). Os veículos a gás natural avaliados neste ano eram todos MBB e eram da segunda geração de motores a gás natural Dedicados (SPTRANS, 2005).

Segundo informações da SPTRANS, as informações de controle e acompanhamento mensal de quebras em trânsito de uma empresa de ônibus com frota de veículos dedicados ao gás demonstrou que em apenas dois meses consecutivos (10/2002 e 11/2002) os ônibus a gás, que representavam somente 14% do total da frota, recorreram ao serviço de guincho 42% do total. Isso significou que os veículos a gás natural daquela empresa apresentaram risco de falha 450% maior em relação aos veículos diesel convencionais (SANTOS, 2003).

É importante ressaltar que, além dos custos associados à manutenção de peças e acessórios, existem, também, os custos (receita perdida) relativos ao período em que os veículos não podem estar em operação devido à falhas mecânicas “graves”.

Outro indicador relativo aos custos com manutenção pode ser obtido através do Projeto PETROBRAS Ônibus a Gás realizado em parceria com o sindicato RIO ÔNIBUS através da empresa operadora RUBANIL, no Rio de Janeiro. Os indicadores aqui apresentados foram obtidos diretamente com a empresa RUBANIL e sinalizam custos com manutenção superiores em 300% para os ônibus Dedicados ao gás, quando comparados a um veículo similar diesel com o mesmo ano de fabricação e avaliado nas mesmas condições de operação (FETRANSPO, 2006; CENPES, 2005).

---

<sup>80</sup> Outro levantamento de custos com manutenção em ônibus a gás natural Dedicado, no Brasil, foi realizado por Balassiano (1997) o qual apresentou resultados diferentes daqueles colhidos pela SPTRANS e apresentado por Santos (2003). Segundo Balassiano (1997) o custo de manutenção dos motores a gás natural de primeira geração (Mercedes Benz) dos veículos que operaram no Rio de Janeiro no ano de 1992 foi 7,5% menor do que os veículos diesel similares. O mesmo nível de redução do custo de manutenção foi observado em experiência com ônibus a gás natural na Inglaterra no ano de 1993 (BALASSIANO, 1997).

Diante das avaliações e experiências desfavoráveis relativas aos maiores indicadores de custos de manutenção dos veículos dedicados a gás no Brasil é preciso perceber que as deduções acima se aplicam apenas à tecnologia desenvolvida pela MBB. Existem outros estudos internacionais sobre custos de manutenção de veículos Dedicados ao gás natural que apresentam indicadores muito próximos aos dos veículos diesel similares. De fato, é importante avaliar com cautela a posição colocada nesse estudo de que os custos com manutenção de ônibus a gás tenderão a ser maiores dos que os custos com ônibus a diesel. Segundo um indicador para veículos pesados na Europa, os custos com manutenção de veículos a gás natural seriam apenas 12% superiores aos custos com veículos diesel (WEIDE, 2001).

Contudo, os veículos a gás natural fornecidos pela MBB, nos últimos 18 anos, vêm apresentando intervalos de falha bastante superiores aos dos veículos diesel similares. Aliado a esse fator soma-se o fato de as peças e acessórios de reposição dos motores dedicados serem consideravelmente mais caras do que o esperado para situações normais de manutenção. No ano de 2005 a MBB cobrou R\$ 2.600,00 por um jogo de velas para o veículo em teste na empresa RUBANIL - Projeto PETROBRAS Ônibus a Gás (FETRANSPOR, 2006), valor esse incompatível com situações convencionais de manutenção.

### **3.3.1 – Custo de oportunidade da revenda do ônibus**

Outra variável de elevada significância para a avaliação econômica do uso do gás natural em ônibus urbanos é a revenda dos veículos usados. Na realidade geral dos operadores de transporte urbano, em especial na região metropolitana do Rio de Janeiro, a maior parte dos veículos usados é comercializada no interior do país, podendo, inclusive, ser comercializada no interior do próprio estado. As localidades de comercialização destes veículos não seguem uma regra lógica, repetitiva e previsível, uma vez que a revenda dependerá apenas de oportunidades de negócio emergentes para cada operador de transporte específico.

A revenda de veículos diesel não é apresentada como uma barreira ao transportador que vem utilizando esta tecnologia nas últimas décadas. Porém, quando

se passa a considerar o uso do gás natural em frotas de ônibus urbanos das regiões metropolitanas, servidas por infra-estrutura de gasodutos, percebe-se o quanto a possível impossibilidade de revenda dos veículos a gás natural poderá impactar negativamente no balanço econômico da inovação tecnológica proposta.

De acordo com dados obtidos junto a FETRANSPO, chegou-se a uma estimativa do custo de oportunidade da revenda dos veículos a diesel usados. Desta maneira pode-se estimar o valor de revenda de um ônibus urbano usado, após sete anos de uso, como sendo 30% do valor de seu similar diesel novo (FETRANSPO, 2006). Sendo assim, foi possível calcular, também, o valor presente do custo de oportunidade da revenda de um ônibus diesel com sete anos de uso. Este custo de oportunidade, a valor presente, pode ser encontrado na tabela 18.

Tabela 18: Custo de oportunidade da revenda

	Valor atual
Custo de Oportunidade da Revenda	R\$ 69.000,00 <sup>81</sup>

Fonte: (FETRANSPO, 2006)

---

<sup>81</sup> O custo de oportunidade da revenda do veículo a diesel será importante para as avaliações de viabilidade econômica do capítulo 8 desta dissertação. Para uma taxa de desconto a ser utilizada em todo o capítulo 8, de 16% ao ano, o valor presente do custo de oportunidade da revenda do ônibus diesel será de R\$ 24.414,24.

## CAPÍTULO 4 – TECNOLOGIA DUAL FUEL

Os motores do ciclo Diesel, ou de ignição por compressão, são geralmente utilizados em veículos pesados e possuem como características principais a aspiração, ou turbo alimentação, de ar puro, a compressão deste até temperaturas e pressões elevadas e a injeção de um combustível de baixa temperatura de auto-ignição que, nessas condições, entra em combustão. A taxa de compressão dos motores diesel é da ordem de 17:1 o que leva à concepção de motores mais robustos (ORLANDO, 1998, LIN, 2006). Os motores do ciclo diesel geralmente apresentam um rendimento térmico superior quando comparados a motores de ignição por centelha (ORLANDO, 1998; LIN, 2006). A tabela a seguir faz o comparativo entre taxa de compressão e rendimento térmico para diferentes tecnologias de motores de combustão interna.

Tabela 19: Taxa de Compressão e Rendimento Térmico de Motores

MOTORES	TAXA DE COMPRESSÃO	RENDIMENTO TÉRMICO
Motor Dual Fuel	17	44% <sup>82</sup>
Ciclo Diesel Tradicional	17	42%
Ciclo Otto (Lean Burn) <sup>83</sup>	11	36%
Ciclo Otto Tradicional <sup>84</sup>	11	27%

Fonte: (ORLANDO, 1998)

Um fator bastante favorável ao uso do gás natural em motores com características do ciclo diesel é a pequena diferença entre o conteúdo energético do gás natural quando comparado ao óleo diesel mineral. Segundo Orlando (1998) o conteúdo energético do gás natural é equivalente a 98,8% do conteúdo energético do diesel mineral, em termos volumétricos<sup>85</sup>. Isso nos permite dizer que 1 m<sup>3</sup> de gás

<sup>82</sup> O rendimento térmico dos motores Dual Fuel também é apresentado, em outros estudos, como sendo menor do que aquele encontrado no motor diesel tradicional original (LASTRES, 2001).

<sup>83</sup> Os motores lean burn são motores do ciclo Otto que queimam mistura pobre de ar/combustível. Normalmente apresentam menores níveis de emissão de NOx e Hidrocarbonetos Totais (HOLLNAGEL et al., 1999; HOEKSTRA;1995). Normalmente, os motores lean burn são apresentados como motores mais eficientes, do ponto de vista energético, do que aqueles projetados para trabalhar com mistura e queima estequiométrica (PELKMAN, 2001; OLIVEIRA, 1997).

<sup>84</sup> Motores do ciclo Otto projetados para funcionar com queima e mistura ar/combustível estequiométrica. Para conceito de mistura e queima estequiométrica vide Ribeiro (2001B), Oliveira (1997).

<sup>85</sup> O poder calorífico superior do gás natural é 9274 kcal/ m<sup>3</sup> enquanto que o poder calorífico superior do diesel (densidade de 0,852 kg/l) é 10750 kcal/kg. O conteúdo energético do gás natural é 38.828 kJ/m<sup>3</sup> comparado com o conteúdo energético do diesel de 38.347 kJ/l (ORLANDO, 1998).

natural é aproximadamente equivalente, em energia, a 1 litro de óleo diesel (ORLANDO, 1998).

Os motores de ignição por compressão podem ser alimentados por gás, desde que haja a injeção de um combustível de baixa temperatura de ignição para iniciar a combustão (o chamado combustível piloto). Um motor operando nesse sistema aspira e comprime uma mistura ar/gás natural. A combustão é iniciada quando uma pequena parcela de óleo diesel é injetada no cilindro e, a partir deste ponto, a combustão se processa de forma semelhante à verificada em motores de combustão por centelha. Esta "injeção piloto" é apenas suficiente para se inflamar e iniciar a frente de chama, equivalente à gerada pela vela de ignição nos motores do ciclo Otto. Essa injeção é responsável por uma pequena parte da energia total fornecida ao motor, sendo a parcela restante fornecida pelo gás. O ciclo de um motor que utiliza gás/diesel é um ciclo misto, com características semelhantes às do ciclo diesel até a injeção piloto e às do ciclo Otto após esta injeção.

O conceito da tecnologia diesel-gás (Dual Fuel) tem sua base na utilização do motor original do ciclo diesel e na queima combinada do gás natural com o óleo diesel. Realiza-se, através da instalação de um "kit", uma adaptação do motor original sem modificações estruturais, mantendo-se um ciclo de funcionamento mais eficiente. Nessa aplicação o débito (consumo) de diesel é reduzido a uma injeção piloto, responsável pelo início da combustão do gás natural que, por sua vez, entra no cilindro do motor previamente misturado ao ar (LASTRES, 1987).

Dentre as vantagens do sistema diesel-gás podem ser citadas:

- pequenas alterações no motor;
- flexibilidade para utilização de diesel puro ou de diesel e gás simultaneamente;
- aproveitamento do alto rendimento do motor diesel (LASTRES, 1987);
- flexibilidade no abastecimento e na revenda do veículo (o veículo pode ser reconvertido e repassado para uma região sem infra-estrutura de abastecimento de gás);
- possibilidade de instalação de um menor número de cilindros de armazenamento de gás natural no veículo;
- maior autonomia do veículo (km/dia).

-possibilidade de operação dos motores convertidos com as mesmas condições de torque e potência do motor original utilizando diesel puro<sup>86</sup> (NASCIMENTO, 1999; BET, 1991; CAMARGO, 2003; MACHADO, 2004; LASTRES, 2004I; LASTRES, 1987).

A substituição de parte do diesel pelo gás natural já proporciona, em um primeiro momento, uma redução significativa de material particulado nas emissões de escapamento, praticamente eliminando a fumaça negra característica dos motores do ciclo diesel<sup>87</sup> (LASTRES, 2001; ORLANDO, 1998; SANTOS, 2003). Existe também o potencial para redução dos poluentes NOx<sup>88</sup> (flexibilidade em se trabalhar com mistura pobre, atraso na injeção de diesel e ignição da mistura ar mais gás) e CO<sub>2</sub> (menor relação carbono/hidrogênio do gás natural) (LASTRES, 1988; RIBEIRO, 2000; LIN, 2003).

No passado<sup>89</sup> quando as legislações ambientais na área de emissões veiculares não existiam, ou eram pouco restritivas em relação aos limites estabelecidos para controle, os motores de combustão interna (ciclo diesel ou Otto) destinados à aplicação automotiva possuíam poucos dispositivos de eletrônica embarcada. O desenvolvimento dos motores era pautado principalmente no desempenho e em segundo plano no consumo (o foco na redução de consumo foi se acentuando com a evolução do preço internacional do barril de petróleo). Portanto, não haviam maiores exigências de sofisticação eletrônica nos sistemas de alimentação dos veículos, uma vez que componentes mecânicos bem calibrados atendiam aos requisitos de desenvolvimento a custos bem menores (MACHADO, 2005).

Com o aumento da densidade populacional nos grandes centros urbanos, as metrópoles mundiais passaram a sofrer problemas graves oriundos da emissão de poluentes, associados principalmente ao aumento da frota de veículos automotivos

---

<sup>86</sup> As mesmas condições de torque e potência do motor Dual Fuel convertido podem ser justificadas pelo fato de o motor permanecer operando com as mesmas características originais de compressão do ciclo diesel original. As elevadas taxas de compressão associadas à boa resistência à detonação do gás natural são capazes de possibilitar as mesmas condições de torque e potência do motor Dual Fuel.

<sup>87</sup> Entenda-se aqui a comparação entre o gás natural (tecnologia Dual Fuel) e os veículos do ciclo diesel comercializados no Brasil para atendimento aos níveis de emissão do PROCONVE V (período estipulado entre 2005 e 2009). Os veículos do ciclo diesel que passarão a ser comercializados no Brasil a partir de 2009 haverão de estar equipados com dispositivos de pós-tratamento dos gases. Estes dispositivos tendem a dar aos veículos do ciclo diesel condições semelhantes às dos veículos a gás natural atuais, do ponto de vista de desempenho ambiental. Aliado a este fato prevê-se, também, a disponibilização por parte da PETROBRAS do óleo diesel de 50 ppm de enxofre, para 2009.

<sup>88</sup> Em estudo apresentado por Orlando, 1998, os testes revelaram um aumento pouco significativo para os níveis de emissão de NOx.

<sup>89</sup> Brasil: anos anteriores à década de 90

(SALA, 1999; FEEMA, 2003). Os E.U.A, como maior potência mundial, foi o primeiro país a estudar o problema e implementar uma política de controle de emissões veiculares ainda na década de 60 (LASTRES et al, 2004)). Em um segundo momento, alguns países da Europa adotaram medidas semelhantes. Hoje o controle de emissões veiculares está presente em muitos países. Este controle apresenta diferentes graus de severidade a depender do impacto no meio ambiente e do nível de desenvolvimento econômico de cada país. Normalmente os países em desenvolvimento adotam os limites americano ou europeu, porém com um cronograma de implementação mais defasado, para dar maior tempo de adaptação às empresas do setor<sup>90</sup> (CONPET, 2005; MACHADO, 2005).

Os limites de emissões cada vez mais restritivos adotados mundialmente impactaram significativamente no desenvolvimento dos motores de combustão interna, que passou a ser orientado pelo compromisso entre desempenho, consumo e emissões. Foi necessária a implementação de novos componentes eletrônicos nos motores diesel convencionais<sup>91</sup>. A utilização de kits Dual Fuel para a conversão de motores diesel terá, necessariamente, que se adequar às novas e cada vez mais restritivas normas de emissões veiculares do país.

---

<sup>90</sup> Situação vivenciada pelo Brasil através do PROCONVE.

<sup>91</sup> Os motores diesel fabricados para ônibus urbanos em 2006 já são todos com gerenciamento eletrônico. Vide capítulo *Motores Diesel Modernos*.

## **4.1 - CARACTERÍSTICAS DA UTILIZAÇÃO DE MOTORES ALIMENTADOS SIMULTANEAMENTE POR GÁS NATURAL E DIESEL**

### **A) PROJETO DO MOTOR**

As características de um motor de ignição por compressão não são alteradas podendo-se, assim, utilizar no mesmo motor diesel / gás natural ou diesel puro, atuando-se numa chave seletora.

Essa característica possibilita o aumento da autonomia do veículo e permite a sua utilização em percursos que não possuam postos de abastecimento de gás.

### **B) INJEÇÃO PILOTO**

Cada gotícula da injeção piloto funciona como uma frente de chama que se propagará através da mistura, como num motor do Ciclo Otto com várias velas. Esse fenômeno resulta numa maior eficiência de queima podendo assim ser utilizadas misturas mais pobres.

Essa característica, aliada ao fato de os motores Dual Fuel permitirem taxas de compressão elevadas e trabalharem com excesso de ar, faz com que esses motores tenham um rendimento maior se comparados com motores de ignição por centelha convertidos para o uso de gás.

A quantidade de diesel debitado na injeção piloto deverá ser reduzida ao mínimo para que se atinjam altos níveis de substituição por gás. Para a determinação dessa quantidade mínima, deve-se estar ciente dos seguintes fatores:

- a bomba injetora deverá estar sempre em boas condições de uso para propiciar uma distribuição na condição de baixo consumo (no caso de veículos ciclo diesel com gerenciamento eletrônico não existe mais bomba injetora, e sim unidades injetoras controladas eletronicamente);
- o diesel injetado na câmara de combustão funciona também como refrigerante do bico injetor que não poderá superar temperaturas superiores àquelas recomendadas pelos fabricantes de motores. Há uma tendência de elevação da temperatura dos bicos injetores para a aplicação de gás natural via kit Dual Fuel (LASTRES, 1988).

Como resultado dessas considerações, os sistemas devem utilizar em qualquer condição uma injeção piloto mínima da ordem de 5% do débito verificado na potência nominal do motor (LASTRES, 1988).

### C) VARIAÇÃO DE CARGA

Em altas cargas observa-se, durante a operação do motor com gás natural/diesel, um aumento do rendimento térmico do motor de até 15% (LASTRES, 1988). Em cargas parciais, porém, essa situação se inverte, pois, com o fechamento da borboleta, verifica-se um empobrecimento da mistura, o que dificulta a propagação da frente de chama na câmara de combustão acarretando em queima incompleta ou atrasada do combustível, reduzindo-se assim a eficiência térmica (LASTRES, 1988).

- Com a diminuição da carga e consequente fechamento da borboleta do misturador, as pressões e temperaturas atingidas no tempo de compressão são reduzidas, o que pode acarretar falhas na combustão da injeção piloto. Esse fenômeno ocorre, geralmente, quando se atinge 20 a 25% da carga e resulta em "RATEIO" do motor e em elevação dos índices de emissão de Hidrocarbonetos e CO (LASTRES, 1988).

Em geral, os sistemas de conversão possuem componentes que limitam a utilização de gás, sendo este utilizado para cargas superiores a 30% da nominal (LASTRES, 1988).

### D) MISTURA AR / GÁS NATURAL

A mistura ar/gás é bastante homogênea e sua queima induz valores de pico e taxas de elevação de pressão inferiores às verificadas para os motores do ciclo diesel, resultando num funcionamento mais "estável" e silencioso do motor.

A relação ar/combustível controlada pelo misturador deve estar dentro de certos limites, pois as misturas muito pobres podem causar falhas no motor e as muito ricas favorecem a ocorrência de detonação (LASTRES, 1988).

Ao trabalharem com relações ar/combustível mais próximas da estequiométrica, as temperaturas dos gases de descarga dos motores Dual Fuel são ligeiramente superiores (LASTRES, 1988).

## E) DETONAÇAO

O metano possui boa característica anti-detonante o que permite a sua utilização na maior parte dos motores do ciclo diesel sem acarretar problemas de detonação (LASTRES, 1988). A tendência para o acontecimento desse fenômeno, prejudicial ao motor, é influenciada pelos fatores descritos a seguir:

- em motores que utilizam taxas de compressão muito elevadas, as temperaturas e pressões atingidas no tempo de compressão são muito altas. Com a propagação da frente de chama gerada pela injeção piloto, as temperaturas e pressões dentro da câmara de combustão se elevam e, caso ultrapassem certos limites, a mistura ar/gás natural não queimada se inflamará causando a detonação (LASTRES, 1988);
- com a elevação da temperatura e/ou pressão da mistura ar / gás natural admitida pelo motor, observa-se um aumento da temperatura e/ou pressão máximas atingidas que poderão acarretar em detonação (LASTRES, 1988);
- com a diminuição da velocidade do motor, aumenta-se a tendência à detonação, visto que esta requer um tempo de pré-reação disponível nas rotações mais baixas (LASTRES, 1988).

## F) DESGASTE E ÓLEO LUBRIFICANTE

Devido à grande redução das formações de carbono, cinzas e material particulado, durante a combustão, o motor movido a gás se mantém em boas condições de limpeza e, assim, observam-se menores taxas de desgaste para um mesmo período de utilização, quando comparado com o motor alimentado apenas com óleo diesel. O óleo lubrificante se mantém isento de impurezas por longos períodos, devido a ausência de carbono formado na combustão dos motores alimentados a gás. Além disso, não são observadas as freqüentes diluições do óleo lubrificante e constante remoção da película de óleo lubrificante dos cilindros causados pelos combustíveis líquidos. (LASTRES, 1988).

### 4.2 – Kits de conversão Dual Fuel

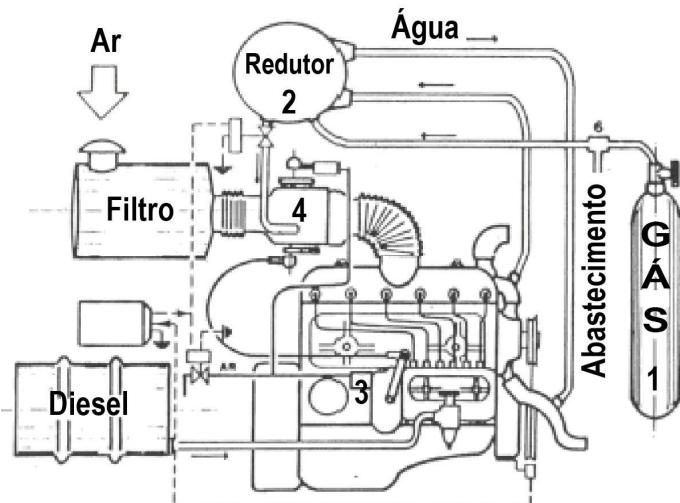
No contexto apresentado, os “kits” de conversão Dual Fuel, a exemplo dos motores de combustão interna, também passaram por uma evolução tecnológica, constatada nas gerações listadas abaixo:

• **1<sup>a</sup> Geração:** Os sistemas de primeira geração eram mecânicos, sendo a proporção de ar / Gás Natural dosada por um venturi calibrado e a quantidade de diesel ajustada mecanicamente (injeção piloto). O índice de substituição do diesel pelo gás era baixo.

- A conversão de um motor de ignição por compressão requer, geralmente, a instalação de um "kit" semelhante àqueles utilizados nos motores de ignição por centelha (motores leves do ciclo Otto). Os "kits" de primeira geração eram constituídos dos seguintes componentes básicos (vide Fig.9):

- 1 - Sistema de abastecimento e armazenamento de gás sob alta pressão ou liquefeito;
- 2 - Sistema de redução ou evaporação do gás;
- 3 - Sistema de redução do débito de óleo diesel;
- 4 - Sistema de dosagem e mistura ar/gás natural.
- 

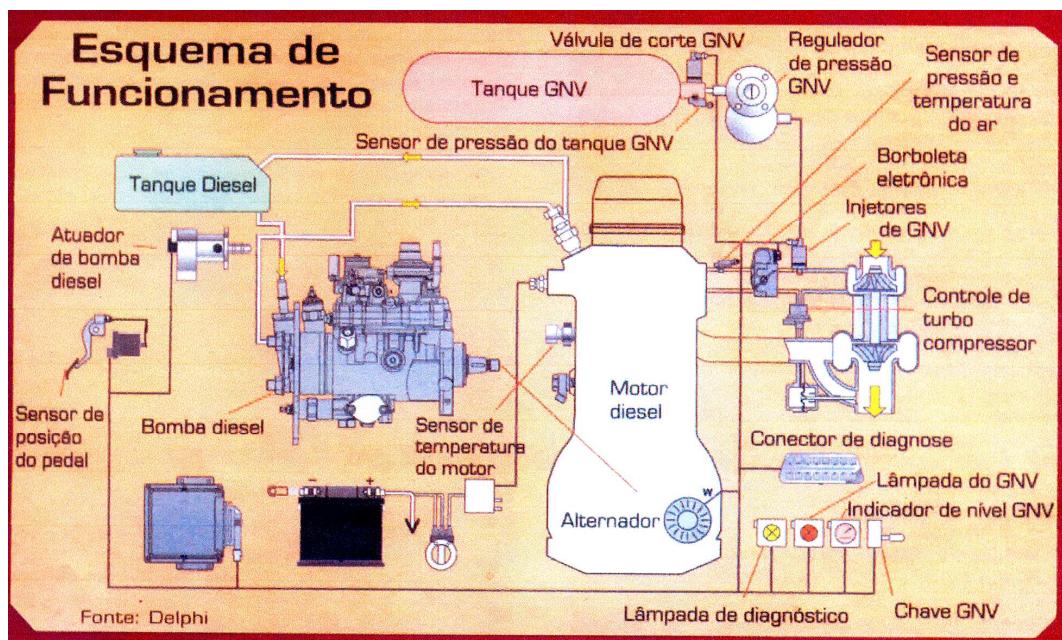
Outros dispositivos passaram a ser incorporados aos kits de primeira geração. Dispositivos eletrônicos foram desenvolvidos para melhor controlar a injeção piloto, bem como a relação ar / gás natural, segundo as diferentes condições de operação do motor.



Fonte: (LASTRES, 1988)

Figura 9: Diagrama de funcionamento de um kit Dual Fuel de 1<sup>a</sup> Geração

• **2<sup>a</sup> Geração:** O "kit" de segunda geração ainda apresentava o venturi calibrado na alimentação de gás natural, porém o diesel era dosado eletronicamente. Alguns sensores eletrônicos passam a alimentar um central eletrônica, a qual se encarregava de fazer a injeção-pitoto de diesel da maneira mais adequada e eficiente para cada condição de operação (MACHADO, 2005).



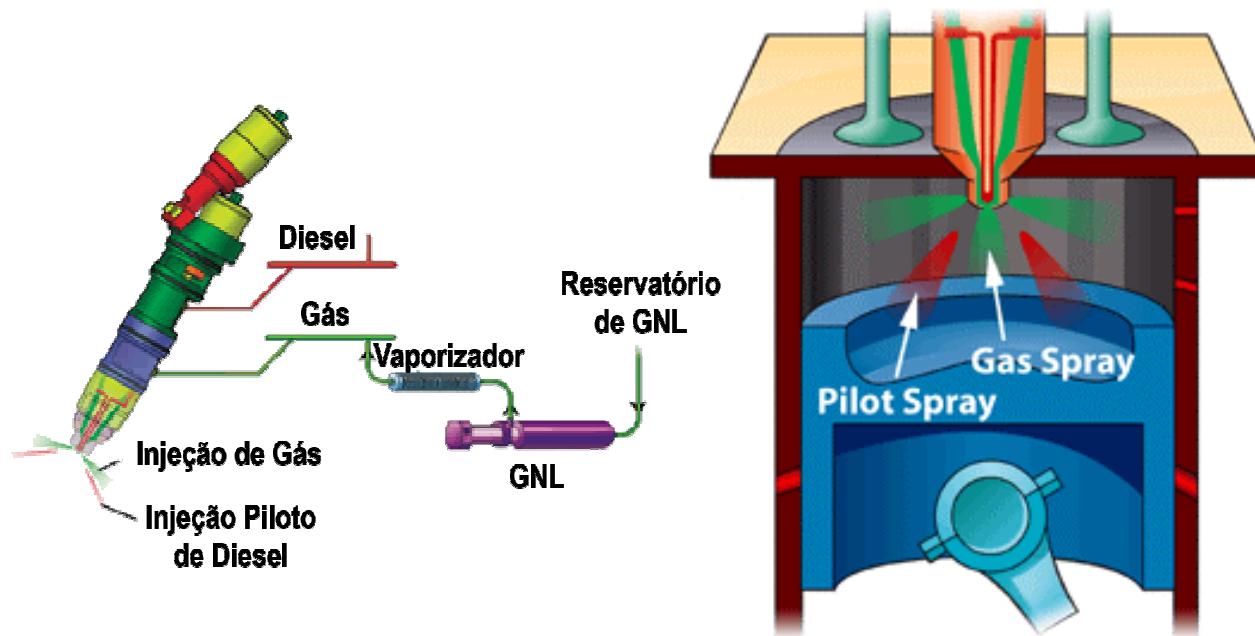
Fonte: (DELPHI, 2005)

Figura 10: Diagrama de funcionamento de um kit Dual Fuel de 2<sup>a</sup> Geração

• **3<sup>a</sup> Geração:** No “kit” de terceira geração, o sistema possui controle eletrônico das injeções de diesel e de gás natural, sendo também “closed-loop”, ou seja, a formação da mistura também é controlada em função de um monitoramento das condições dos gases de escapamento; esse monitoramento é feito por uma sonda especial muitas vezes chamada sonda lâmbda. A diferença aqui é que a injeção de gás natural também passa a ser controlada e regulada eletronicamente (MACHADO, 2005).

**4<sup>a</sup> Geração:** A quarta geração, ainda em pesquisas, emprega um injetor único para as injeções piloto de diesel e de gás<sup>92</sup> (MACHADO, 2005). A maior parte dos estudos se encontra nos países industrializados e mesmo assim sem nenhuma aplicação comercial conhecida.

<sup>92</sup> Um estudo e experimento brasileiro com essa linha tecnológica de injeção independente de diesel e gás natural em motores do ciclo diesel pode ser encontrado na tese de doutorado de Trielli (1998). O trabalho foi desenvolvido e experimentado no laboratório de engenharia mecânica da Universidade de São Paulo. A empresa CUMMINS WESTPORT vem desenvolvendo pesquisas para a disponibilização de motores capazes de trabalhar com a injeção simultânea de óleo diesel e gás natural. Todavia, os experimentos ainda não resultaram em um produto que já esteja disponível comercialmente.



(Fonte: MARTINS, 2004)

Figura 11: Funcionamento da injeção um kit Dual Fuel de 4<sup>a</sup> Geração

Cabe ressaltar que o desenvolvimento de um “kit” diesel/gás natural é específico para o motor em que será aplicado, sendo assim, esses kits não são intercambiáveis com diferentes motores e requerem uma otimização criteriosa para atingir desempenho satisfatório com emissões reduzidas<sup>93</sup>. Sem tal desenvolvimento específico para o motor de aplicação, o potencial de redução de emissões atmosféricas com o gás natural, substituindo parcialmente o óleo diesel, poderá não ser satisfatório.

#### 4.3 – A experiência do CENPES/PETROBRAS

Devido à crise do petróleo no início dos anos 80 surgiram ações no âmbito do Governo Federal no sentido de desenvolver meios para substituição do óleo diesel pelo gás natural. Com esse intuito foram criados o Plano Básico Nacional de Gás Combustível, coordenado pelo Ministério de Minas e Energia e o Plano para Implantação de Frotas de Ônibus, coordenado pelo Ministério dos Transportes (LASTRES, 1988).

<sup>93</sup> A falta de flexibilidade para a utilização de um mesmo kit Dual Fuel em diferentes modelos de motores diesel é um fator negativo para o desenvolvimento de uma escala de produção dos mesmos.

Seguindo a orientação do Governo Federal, a PETROBRAS criou um grupo de trabalho sob a coordenação de seu Serviço de Planejamento com o objetivo de analisar as possibilidades técnica, econômica e comercial para utilização de gás natural como substituto do óleo diesel em veículos coletivos, na área do Rio de Janeiro.

No âmbito da PETROBRAS as ações se subdividiram no levantamento de frotas de veículos, avaliação de consumos e localização de postos sob responsabilidade da BR - Distribuidora, e definição dos sistemas de conversão a cargo do seu centro de pesquisas, CENPES.

Naquela época a tecnologia de conversão de veículos leves já era de domínio público, porém, para veículos pesados, a tecnologia estava restrita a centros de pesquisa e fabricantes de sistemas de conversão na Itália (MACHADO, 2005).

Dentro da linha de pesquisa com o objetivo de investigar e avaliar combustíveis alternativos para motores e tendo em vista o aumento crescente das reservas de gás natural no País, o centro de pesquisas da PETROBRAS iniciou, em 1982, um programa para estudar a viabilidade da utilização de gás natural veicular sob a forma de duplo combustível em motores de aspiração natural do ciclo diesel.

O programa abrangeu a avaliação de sistemas de conversão importados e nacionais objetivando, também, dar apoio técnico à indústria nacional para o desenvolvimento de seus produtos.

A primeira etapa do programa constituiu-se na avaliação dos sistemas de conversão disponíveis, em banco de provas do Laboratório de Motores do CENPES. Nem sempre se conseguiu uma avaliação completa, devido ao baixo grau de desenvolvimento destes sistemas, porém estas experiências forneceram informações importantes para os futuros aprimoramentos.

O motor utilizado nesta primeira fase do programa foi o Mercedes-Benz, modelo OM-352, pelos seguintes aspectos:

- existência de um sistema de conversão para o referido motor;
- representatividade numérica da frota nacional;
- disponibilidade e domínio do motor pela equipe técnica do CENPES.

Para verificar os efeitos da combustão de gás natural / diesel, o motor foi equipado de um bico injetor com sensor de temperatura e sensor de pressão em uma das câmaras de combustão.

A adequação dos sistemas de conversão, na operação do motor com diesel/gás natural, foi realizada visando-se obter a maior substituição possível de diesel, observando-se, porém, as seguintes premissas:

- restabelecer o torque máximo;
- fornecer curvas características semelhantes às originais;
- evitar falhas de funcionamento;
- evitar que qualquer parâmetro de operação excedesse os valores limites, recomendados pelo fabricante do motor.

### 4.3.1 - OS PRIMEIROS SISTEMAS DE CONVERSÃO DUAL FUEL TESTADOS PELO CENPES

O CENPES testou durante a década de 80 os seguintes kits de conversão apresentados na tabela 20:

Tabela 20: Kits Dual Fuel testados pelo CENPES na década de 1980

FABRICANTE	ORIGEM	FUNCIONAMENTO	OBSERVAÇÕES
<b>2.2 TA RT AR INI</b>	Itália	-não se obteve boa avaliação. O mesmo não funcionou adequadamente, sendo necessários ajustamentos manuais a cada condição de operação do motor - O sistema foi levado à Itália para modificações, tendo retornado alguns meses depois, quando foi instalado num ônibus de transporte de passageiros da Empresa T.W.R, no Rio de Janeiro.	-os resultados com a experiência no ônibus serão apresentados ainda neste capítulo
<b>Tessari</b>	Itália	-limitações observadas: ajustando-se o corte do diesel para uma substituição de 70% na condição de torque máximo, o motor não funcionava em marcha lenta; regulando-se o corte do diesel para possibilitar a operação em marcha lenta, o sistema apresentava uma substituição máxima de 50%.	-Outro problema verificado foi a ocorrência de detonação em baixas rotações com o motor regulado para uma substituição de 70% de diesel por GNV.
<b>Rodagás</b>	Nacional	-o sistema de conversão foi colocado em operação no banco de provas, mas seu funcionamento foi prejudicado pelo limitador do débito da bomba injetora, onde não se conseguiu uma ajustagem satisfatória.	-primeiro kit de origem nacional testado pelo CENPES
<b>Retimotor</b>	Nacional	- no decorrer dos testes, foram observadas falhas no funcionamento do motor quando este passava a utilizar gás natural/diesel, o que dificultou a avaliação do sistema. Os dados obtidos mostraram que as curvas características utilizando-se diesel puro e gás natural / diesel distanciavam-se sensivelmente	-equipamento desenvolvido com apoio técnico do IPT, composto de válvulas redutoras de pressão (e em série), carburador, caixa de mistura ar / gás natural e limitador do débito de diesel controlado por sistema eletromecânico baseado no posicionamento da borboleta do carburador. O “kit” foi instalado no motor de teste e regulado para uma substituição de 70% na condição de torque máximo.
<b>Equipgeo</b>	Nacional	-a avaliação dos dois sistemas mostrou que ambos necessitavam de um maior desenvolvimento, apesar de apresentarem bom potencial de projeto.	-foram levados ao CENPES dois projetos distintos de sistemas de conversão para o uso de gás natural / diesel. No primeiro, o limitador de débito de diesel e a válvula dosadora de gás eram comandados por um sistema hidráulico acionado pelo motor. -o segundo projeto apresentou concepção totalmente diferente, sendo o kit controlado por um sistema eletromecânico.

Fonte: (LASTRES,1988).

#### **4.3.2 - O DISPOSITIVO ELETRÔNICO DO CENPES**

Face às limitações e problemas descritos no item anterior, o CENPES desenvolveu um dispositivo eletrônico para viabilizar a instalação de kits em motores com sistema de alimentação semelhante ao do modelo OM-352 da MBB (LASTRES, 1991).

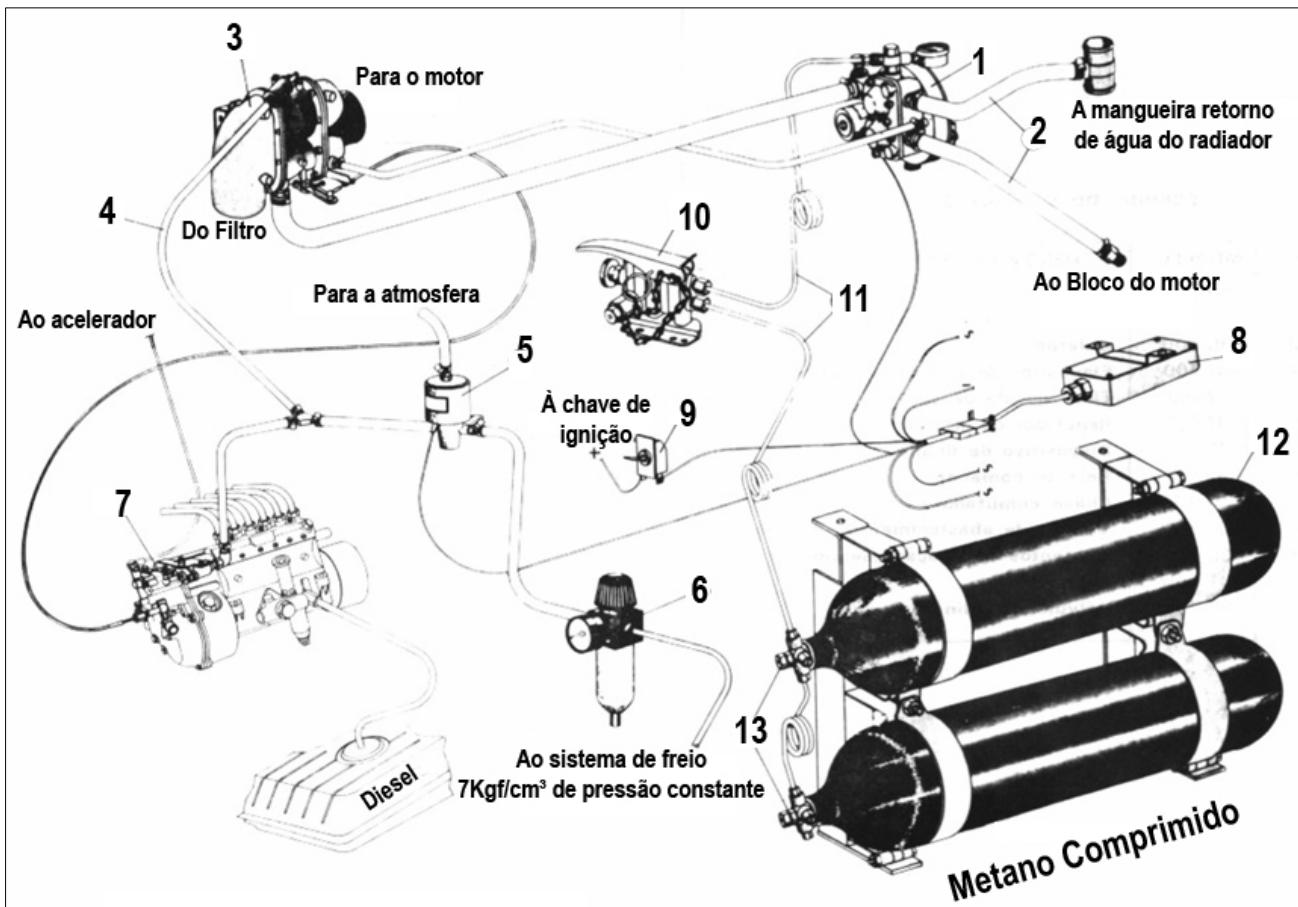
O dispositivo recebe sinal de rotação do motor, gerado pelo alternador, tacogerador (ou qualquer sinal de rotação), e seleciona o sistema mais adequado para cada condição, estabelecida através de duas regulagens.

O dispositivo eletrônico foi patenteado pela PETROBRAS, que passou a ceder seus direitos a firmas nacionais interessadas em utilizá-lo como componente de seus kits (LASTRES, 1991).

O dispositivo eletrônico foi inicialmente testado em conjunto com o kit Tessari e demonstrou um funcionamento eficiente, uma vez que eliminou os problemas associados ao kit. O conjunto foi posteriormente instalado em um ônibus para a realização de testes no circuito da cidade universitária, cujos resultados serão discutidos no item subseqüente a este.

Por ser de origem nacional e estar à disposição do CENPES, na época do desenvolvimento do dispositivo, o kit da Rodagas sofreu algumas modificações para a adequação do referido dispositivo e este conjunto serviu como base da maior parte das pesquisas realizadas.

A figura 12 ilustra os principais dispositivos do kit Dual Fuel testado pelo CENPES juntamente com o dispositivo eletrônico por eles desenvolvido.



Fonte: (LASTRES, 1991)

- 1-) Válvula redutora de pressão
- 2-) Arrefecimento da válvula redutora
- 3-) Misturador ar/gás natural
- 4-) Acionamento hidráulico do misturador
- 5-) Válvula solenóide de acionamento
- 6-) Válvula de pressão
- 7-) Dispositivo dosador da injeção piloto da bomba de injeção
- 8-) Central de controle eletrônica
- 9-) Chave seletora
- 10-) Válvula de abastecimento
- 11-) Tubulação do sistema de alta pressão
- 12-) Cilindros de armazenamento
- 13-) Válvulas de segurança

Figura 12: Diagrama de um Kit Dual Fuel com o dispositivo do CENPES

Para o Kit Rodagás foi observado que as curvas de torque e potência apresentaram valores próximos em todas as rotações, o que foi um avanço considerável (LASTRES, 1991).

Para o kit Rodagás a substituição oscilou entre 70% e 88%, apresentando uma média global de 80% (LASTRES, 1991).

Foi verificado também nesta avaliação o aumento da temperatura do sistema de conversão, cabendo ressaltar o sensível aumento da temperatura do bico injetor que chegou a 284º C na utilização de duplo combustível (LASTRES, 1991).

O CENPES testou, também, o kit da Retimotor para avaliar seu desempenho quando complementado pelo dispositivo eletrônico. O sistema foi então montado no banco de provas e semelhantemente ao kit Rodagás, as curvas de torque e potência apresentaram valores próximos em todas as rotações quando comparadas ao motor diesel puro.

Quanto à temperatura de bico injetor, foi verificado também um pequeno acréscimo, atingindo-se a temperatura máxima de 276º C (LASTRES, 1991).

#### **4.3.3 - AVALIAÇÃO DOS SISTEMAS DE CONVERSÃO EM TESTE DE CAMPO**

Para avaliar o desempenho de sistemas de conversão em serviço de campo, os kits das firmas Tartarini e Rodagás foram instalados em um ônibus Mercedes-Benz da firma TWR e testados no circuito de média velocidade demarcado na cidade Universitária do Rio de Janeiro.

A preparação do veículo para o teste constou de montagem de sistemas para a medição de consumo de diesel e de gás, além da adição de uma carga de 29.420N (3000kgf) para simular ao peso dos passageiros (LASTRES, 1991).

As tabelas 21 e 22 apresentam um resumo dos valores médios calculados a partir de dados de três a quatro medições com eliminação dos valores atípicos. Cabe observar também que os sistemas de conversão das firmas Rodagás e Tessari foram instalados em conjunto com o dispositivo eletrônico e que o kit Tartarini testado é o resultado de várias modificações realizadas pelo fabricante desde o início do programa (quinta versão).

a-) Com diesel Puro

Tabela 21: Desempenho do veículo convertido com Kit Dual Fuel operando apenas com diesel.

Sistema de Conversão	Diesel Consumido (l)	Tempo de Percurso (s)	Velocidade média (km/h)	Autonomia (km/l)	Energia Despendida (MJ)
Tartarini	5.08	1891	31.4	3.2	196.4
Tessari (*)	5.09	1972	30.1	3.2	196.8
Rodagás (*)	5.10	1920	30.9	3.2	197.2

(\*) com dispositivo eletrônico do CENPES

Fonte: (LASTRES, 1991).

b-) Com GNC + Diesel

Tabela 22: Desempenho do veículo convertido com Kit Dual Fuel operando com GNC e diesel.

Sistema Conversão	Diesel Consumido (l)	Gás consumido (kg)	Tempo de percurso (s)	Velocidade média (km/h)	Substituição de diesel (%)	Energia (MJ)		
						Diesel	Gás	Total
Tartarini	1.35	3.32	1889	31.4	73	52.2	174.8	227.0
Tessari (*)	2.39	3.11	2053	28.9	53	92.4	160.8	253.2
Rodagás (*)	1.57	3.35	1906	31.2	69	60.7	173.2	233.9

(\*) com dispositivo eletrônico do CENPES

Fonte: (LASTRES, 1991).

Com base nos dados apresentados nas tabelas 21 e 22, podem ser feitas as seguintes observações:

- os kits Tartarini e Rodagás mostraram desempenhos semelhantes e superiores ao kit Tessari;
- ao operar no sistema de duplo combustível, o veículo apresentou um consumo energético maior do que o veículo alimentado por diesel puro – Tessari 28,7% , Rodagás 18,6% e Tartarine 15,6%;
- o kit Tartarini não foi anteriormente testado em banco de provas e, assim, não se pode afirmar se o motor estava submetido a esforços excessivos quando da operação com gás natural / diesel.

O trabalho em pauta forneceu subsídios técnicos para a criação de convênios entre a Petrobrás e outras empresas, com o objetivo de implantar frotas de veículos movidos a gás natural/diesel no Rio de Janeiro.

Em junho de 1985, encontravam-se em operação normal dois postos de abastecimento de GNC e uma frota de dezoito veículos convertidos para o uso de duplo combustível, conforme distribuição a seguir.

Tabela 23: Veículos Dual Fuel testados no Rio de Janeiro – década de 80.

<b>Veículo</b>	<b>Motor</b>	<b>Empresa</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Posto de Abastecimento</b>
Ônibus Urbano	OM-352	CTC	12	CTC
Ônibus Urbano	OM-352	LUXOR	2	BR
Caminhão-tanque	OM-352	LIDERBRÁS	1	BR
Caminhão-tanque	OM-355	LIDERBRÁS	2	BR
Caminhão-tanque	OM-355	LIDERBRÁS	1	BR

Fonte: (LASTRES, 1991).

Até aquela data, a frota havia totalizado 210 000 km em operação com gás natural / diesel, sendo que alguns veículos já acumulavam 40 000 km (LASTRES, 1991).

Os dados obtidos no acompanhamento dessa frota mostraram valores bem distintos, em função da heterogeneidade de serviços executados pelos veículos. Pode-se afirmar, porém, que a substituição de diesel por GNV oscilou entre 40% e 74% e que a energia foi, em média, 20% superior na operação com gás natural / diesel (LASTRES, 1991).

Os problemas mecânicos ocorridos nesse período foram considerados normais, não se constatando qualquer caso que pudesse ser atribuído ao uso de duplo combustível.

Com base nos resultados apresentados na experiência do CENPES na década de 80, pode-se chegar às seguintes conclusões:

- a utilização de gás natural / diesel em motores veiculares do ciclo diesel e aspiração natural é tecnicamente viável;
- considerando que a energia total despendida na operação com gás natural/diesel atingiu valores superiores aos obtidos com diesel puro, conclui-se que os sistemas de

conversão ainda necessitavam de aprimoramentos, principalmente no que se refere à carburação do gás natural<sup>94</sup> (LASTRES, 1991).

#### **4.3.4 – Última experiência do CENPES<sup>95</sup>**

Uma das últimas experiências do CENPES na conversão de um veículo para o uso da tecnologia Dual Fuel descreve o desenvolvimento realizado para a conversão de um motor Mercedes-Benz OM 366.

O trabalho foi realizado em conjunto com a firma canadense AFS Corporation e consistiu na adequação, ao motor OM366, do sistema de controle eletrônico anteriormente desenvolvido para o modelo 352 da Mercedes. (LASTRES, 1991).

Conclui-se que o motor convertido com o sistema eletrônico da AFS, quando comparado ao motor original, apresenta maior rendimento, chegando-se à substituição média de 72% de óleo diesel por gás natural. Esses dados computados em conjunto com o preço dos combustíveis resultaram em economia média de 17% com custos totais de combustível, no ano de 1991 (LASTRES, 1991). Assim, um motor novo e regulado segundo as recomendações da Mercedes foi montado no banco de provas para o levantamento dos dados que foram tomados como base para o trabalho de desenvolvimento do programa de controle.

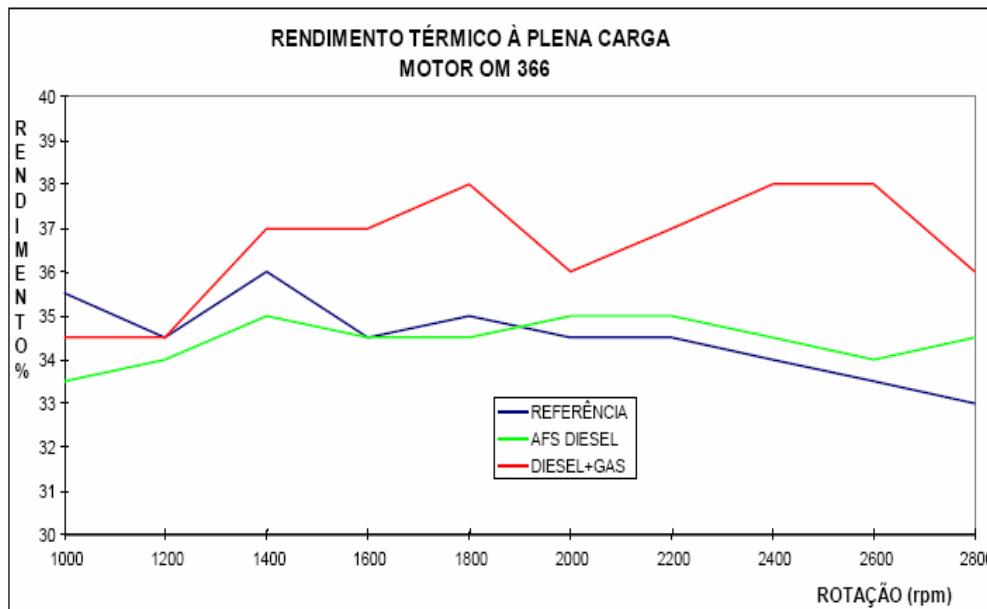
Após esse levantamento o motor foi convertido para o uso de gás natural veicular com a instalação dos novos componentes projetados e de uma unidade de controle eletrônica, de forma a se definir o programa que resultasse em condições de operação bastante próximas às do motor a diesel original. Cabe ressaltar que houve a necessidade de se alterar o projeto dos tubos de injeção, com o objetivo de se obter uma maior turbulência na mistura admitida. Esta alteração se fez necessária devido à constatação de detonação em alguns regimes de operação, o que foi atribuído à má homogeneização da mistura ar/gás natural (LASTRES, 1991).

Após algumas alterações, chegou-se à configuração final do sistema de conversão. As figuras 13 e 14 apresentam as curvas características do motor nas três

<sup>94</sup> A evolução tecnológica dos kits de conversão Dual Fuel em 2006 apresenta resultados de desempenho bem melhores àqueles observados pela experiência do CENPES nas décadas de 1980 e 1990. Algumas experiências mais recentes com kits Dual Fuel serão apresentadas ainda neste capítulo.

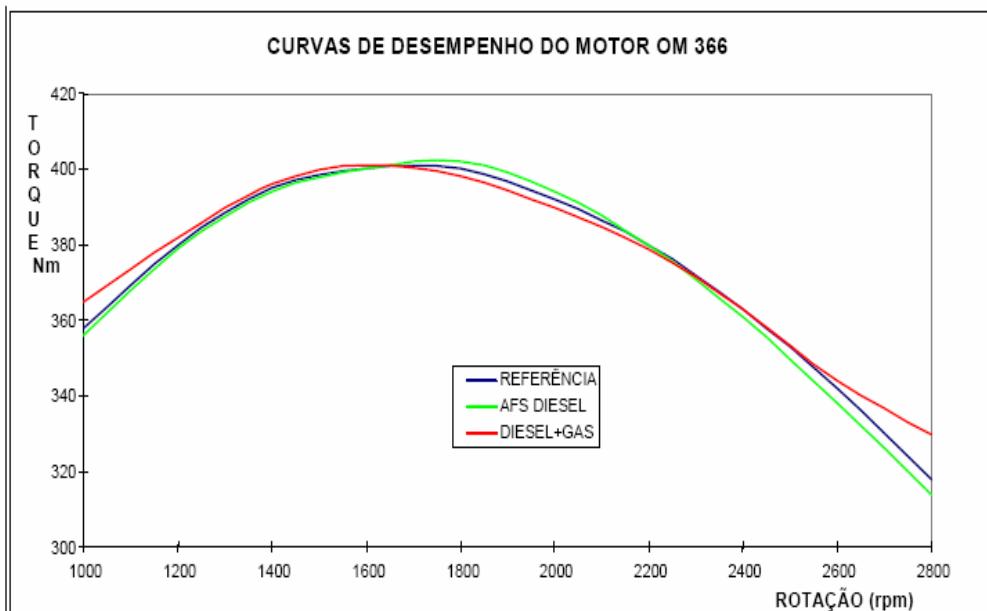
<sup>95</sup> Na década de 1990.

condições de operação, quais sejam: diesel puro com o motor original, diesel puro como o motor equipado com o kit da AFS e diesel / gás natural com o mesmo sistema de conversão.



Fonte: (LASTRES, 2004)

Figura 13: Curvas de rendimento térmico.



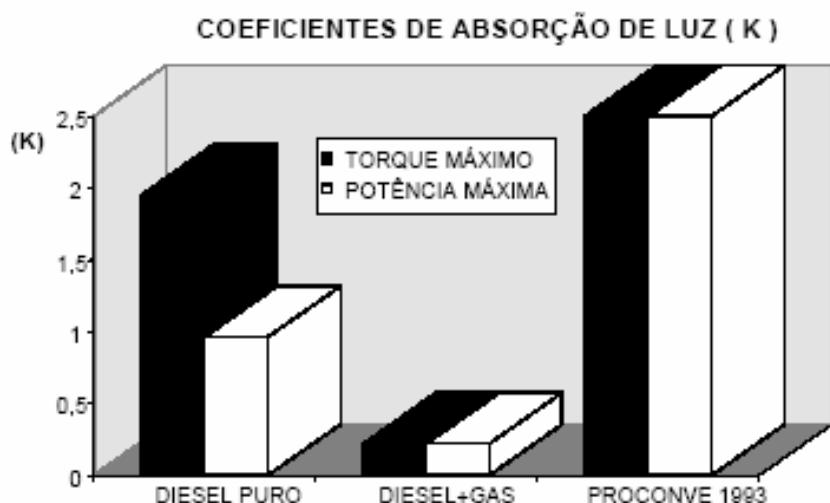
Fonte: (LASTRES, 2004)

Figura 14: Curvas de torque.

Analizando-se as figuras 13 e 14, observa-se que o desempenho do motor nessas três condições mencionadas foi bastante semelhante em toda a faixa de

operação do motor. As curvas indicam que é possível obter maiores rendimentos térmicos quando se utiliza gás natural. Tal fato pode ser explicado principalmente pela melhor homogeneização da mistura ar/gás natural, tornando a combustão mais completa.

A figura 15 demonstra que o potencial de redução do coeficiente de absorção de luz (K) – Opacidade é bastante significativo quando se utiliza a mistura gás natural/diesel. O coeficiente de absorção de luz (Opacidade) apresenta elevada relação com os níveis de material particulado emitidos pelos veículos do ciclo diesel (CONPET, 2005). A redução desses níveis poderá ser uma das principais vantagens ambientais da aplicação dos kits de conversão Dual Fuel, principalmente nos grandes centros urbanos do país<sup>96</sup>.



Fonte: (LASTRES, 2004)

Figura 15: Redução dos níveis de emissão de fumaça-preta de um veículo Dual Fuel.

Quanto à substituição de óleo diesel por gás natural alcançaram-se níveis entre 70% e 89% (LASTRES, 1991).

O sistema desenvolvido em banco de provas foi instalado num ônibus urbano da empresa Rodoviária A. Matias (município do Rio de Janeiro), para realização do

<sup>96</sup> Novamente se faz aqui a observação quanto ao tipo de tecnologia diesel que se está avaliando. O gráfico acima comparou o desempenho ambiental (emissão de fumaça preta) entre um veículo do ciclo diesel, com motor de injeção mecânica, com um veículo tipo diesel similar com kit Dual Fuel. A vantagem observada para os veículos movidos com gás natural poderá perder magnitude quando da entrada em operação dos modernos veículos diesel (eletrônicos e com dispositivos de pós-combustão de gases de combustão. A inserção de dispositivos de pós-tratamento dos gases deverá trazer elevação dos preços dos veículos diesel convencionais, além da provável queda do rendimento térmico destes veículos devido, principalmente, à perda de carga imposta pela maior restrição à passagem dos gases pelo escapamento deste veículos. Vide capítulo 6 desta dissertação.

teste de campo. Esse ônibus operou durante dois meses na condição normal de serviço, transportando passageiros na linha 232 (Lins - Praça XV). Durante este período, o veículo percorreu 11 714 km com diesel/gás natural, não sendo observada qualquer anormalidade que pudesse ser atribuída ao gás (LASTRES, 1991).

As tabelas 24 e 25 apresentam os dados obtidos durante o período de teste dentre os quais se ressalta o índice médio de substituição de 72% e a equivalência operacional média de 0,96 m<sup>3</sup> de gás/l de óleo diesel, para os dois meses analisados juntos. Esses dados de desempenho do veículo, considerados em conjunto com o preço dos combustíveis, acarretaram, em 1991, numa economia média de 17% com o uso do gás natural, para os dois meses considerados. (LASTRES, 1991).

Tabela 24: Resultado detalhado de teste Dual Fuel no Rio de Janeiro com kit equipado com dispositivo eletrônico do CENPES – mês 1.

<b>Dados de Entrada</b>	
1. Período Analisado	01 a 31/01/91
2. Local de operação do veículo	Rio de Janeiro
3. Características do Veículo	Ônibus Coletivo Urbano
4. Empresa	Rodoviária A. Matias
5. Ciclo do Motor	Ciclo Diesel
6. Combustível utilizado	Diesel + Gás
7. Tipo do motor	OM 366
8. Massa específica do gás a 20ºC (kg/m <sup>3</sup> )	0,72
9. Volume hidráulico dos cilindros do veículo (l)	477,5
10. Quilometragem analisada (km)	6002
11. Trecho com anormalidades (km)	0
12. Trecho rodado com diesel puro (km)	0
13. Trecho rodado com gás (km)	6002
14. Autonomia padrão de diesel do veículo (km/l)	2,20
15. Volume de diesel puro que seria consumido (l)	2728
16. Autonomia de diesel na mistura (km/l)	7,83
17. Volume de diesel na mistura (l)	767
18. Autonomia de gás natural do veículo convertido	3,12
19. Volume de gás natural do veículo convertido (m <sup>3</sup> )	1922
20. Poder calorífico superior do diesel (kcal/l)	9070
21. Poder calorífico superior do gás natural (kcal/m <sup>3</sup> )	9274
22. Preço do diesel (Cr\$/l)	61,43
23. Preço do gás natural veicular (Cr\$/m <sup>3</sup> )	48,63
<b>Dados de Saída</b>	
1. Índice de substituição Volumétrica (% gás)	72%
2. Autonomia do veículo operado com gás (km)	338
3. Equivalência operacional (m <sup>3</sup> gás / l diesel)	0,98
4. Custo por km rodado com diesel (Cr\$/Km)	27,923
5. Custo por km rodado com gás natural (Cr\$/Km)	23,417
6. Economia do sistema gás natural (Cr\$/Km)	4,505
7. Economia do sistema gás natural (%)	16,1

Fonte: (LASTRES, 1991)

Tabela 25: Resultado detalhado de teste Dual Fuel no Rio de Janeiro com kit equipado com dispositivo eletrônico do CENPES – mês 2.

1. Período Analisado	01 a 28/02/91
2. Local de operação do veículo	Rio de Janeiro
3. Características do Veículo	Ônibus Coletivo Urbano
4. Empresa	Rodoviária A . Matias
5. Ciclo do Motor	Ciclo Diesel
6. Combustível utilizado	Diesel + Gás
7. Tipo do motor	OM 366
8. Massa específica do gás a 20°C (kg/m <sup>3</sup> )	0,72
9. Volume hidráulico dos cilindros do veículo (l)	477,5
10. Quilometragem analisada (km)	5810
11. Trecho com anormalidades (km)	0
12. Trecho rodado com diesel puro (km)	98
13. Trecho rodado com gás (km)	5712
14. Autonomia padrão de diesel do veículo	2,20
15. Volume de diesel puro que seria consumido	2596
16. Autonomia de diesel na mistura (km/l)	7,96
17. Volume de diesel na mistura (l)	718
18. Autonomia de gás natural do veículo	3,24
19. Volume de gás natural do veículo	1762
20. Poder calorífico superior do diesel (kcal/l)	9070
21. Poder calorífico superior do gás natural	9274
22. Preço do diesel (Cr\$/l)	61,43
23. Preço do gás natural veicular (Cr\$/m <sup>3</sup> )	48,63
<b>Dados de Saída</b>	
1. Índice de substituição Volumétrica (% gas)	72%
2. Autonomia do veículo operado com gás (km)	350
3. Equivalência operacional (m <sup>3</sup> gás / l diesel)	0,94
4. Custo por km rodado com diesel (Cr\$/Km)	27,923
5. Custo por km rodado com gás natural	22,726
6. Economia do sistema gás natural (Cr\$/Km)	5,197
7. Economia do sistema gás natural (%)	18,6

Fonte: (LASTRES, 1991)

O sistema de conversão desenvolvido para a utilização de gás natural apresentou excelentes resultados tanto no banco de provas quanto no teste de campo.

Em ambos os ensaios, obtiveram-se maiores rendimentos quando se utilizou o gás natural com diesel, chegando-se a níveis reais de 72% de substituição de óleo diesel no teste de campo. Esses valores computados em conjunto com o preço dos combustíveis, em 1991, resultaram numa economia média de 17% obtida com o emprego do gás natural<sup>97</sup>.

<sup>97</sup> Estes resultados apresentados foram válidos para o ano em que os testes foram realizados.

Os dados obtidos no teste de campo com kit eletrônico se revelam bem mais promissores do que os que foram conseguidos anteriormente com o emprego de sistemas de conversão controlados mecanicamente.

Quanto à adequação da poluição ambiental, observou-se uma menor emissão de particulados (fumaça preta<sup>98</sup>) quando se utilizou o gás natural<sup>99</sup>. Recomenda-se, porém, uma avaliação mais completa dos diferentes tipos de gases de emissões do motor convertido para o uso de gás natural, a fim de que se possa emitir um parecer mais fundamentado sobre o assunto.

#### **4.4 - A EXPERIÊNCIA COM A EMPRESA DE KITS DUAL FUEL AFS CORPORATION**

Não são muitos os fabricantes mundiais de kits de conversão Dual Fuel. Este texto se concentra na avaliação dos principais estudos e experimentos realizados no Brasil com os Kits da empresa AFS Corporation. Seus kits têm sido testados em diferentes países do mundo, a saber: Rússia, Japão, Coréia, Hungria, Paquistão, Tailândia, Europa Oriental, tendo sido inclusive testados no Brasil em experiências semelhantes à apresentada no texto do item anterior. Uma substituição máxima do óleo diesel de 94% foi obtida em testes realizados com o motor Mercedes Benz OM 352, que mostraram que abaixo de cerca de 1200 rpm a utilização do gás natural pode ser mínima (utilização do óleo diesel é máxima), chegando a valores máximos de substituição acima desta rotação (ORLANDO , 1998).

Será demonstrado por Mirosh (1994), na tabela 26, que a utilização de kits Dual Fuel em ônibus urbanos pode resultar, para o tráfego pesado de cidades como Rio de Janeiro, numa substituição média do óleo Diesel da faixa de 76%. Para operação em marcha lenta apenas o óleo Diesel é utilizado. Para operação em estradas, com altas velocidades, uma substituição média na faixa de 85-90% pode ser alcançada (ORLANDO, 1998).

A tabela 26 apresenta dados de desempenho de um ônibus dotado de um motor Mercedes Benz OM352, rodando em várias cidades do mundo (MIROSH, 1994).

---

<sup>98</sup> Medida através de equipamento de medição de opacidade – opacímetro.

<sup>99</sup> Importante lembra que a comparação entre o uso do gás natural se faz para com um veículo diesel convencional, na época, com injeção mecânica de combustível.

Foram testados veículos totalmente dedicados a Gás Natural (100% de substituição) e veículos dotados do kit de conversão para operação com diesel / gás natural. O consumo específico é expresso em litros equivalentes de óleo Diesel para cada 100 km ( $l_e/100\ km$ ).

Tabela 26: Desempenho de ônibus em tráfego urbano com diferentes motores.

CIDADE	TIPO	CONSUMO $l_e/100\ km$	SUBSTITUIÇÃO DE DIESEL (%)
BRUXELAS	(1)	94	100
BANGKOK	(1)	87	100
BANGKOK	(1)	78	100
JAPÃO	(1)	69	100
VANCOUVER	(2)	79	100
TORONTO	(2)	72	100
MISSISSAUGA	(2)	68	100
ITÁLIA	(2)	68	100
HOLANDA	(2)	67	100
MOSCOU	(3)	45	83
TEHRAN	(3)	44	70
RIO DE JANEIRO	(3)	42	76
DEBRECEN	(3)	40	78
MENDOZA	(3)	34	75

Fonte: (MIROSH, 1994) : (1) Ciclo OTTO, centelha, relação Ar/Combustível estequiométrica para Gás Natural; (2) Ciclo OTTO, centelha, *lean burner*, Gás Natural; (3) Ciclo Diesel, com conversão Dual Fuel, kit AFS;  $l_e$  litros equivalentes de diesel.

Pode-se ver que motores dedicados a Gás Natural consomem mais óleo Diesel (litros equivalentes) que no motor convertido para Dual Fuel requerendo, portanto, um volume maior de armazenamento. A tabela 27 mostra uma outra comparação entre ônibus dotados de motor dedicado a gás natural e de motor diesel, com testes realizados no Japão.

Tabela 27: Comparação de Desempenho entre ônibus dedicado a Gás Natural e a Diesel.

TRÁFEGO	GÁS NATURAL $l_e/100\ km$	DIESEL $l/100\ km$
CONGESTIONADO	109,0	48,5
CONST.a 20 km/h	77,5	27,6
CONST a 30 km/h	58,5	34,6
CONST a 60 km/h	31,1	22,0
CONDIÇÕES REAIS	64,5	45,7

Fonte: (MATROS e MIROSH, 1997)

Pode-se observar que o ônibus a gás natural consome mais combustível do que o operado com Diesel. Motores com conversão Dual Fuel e injeção Multipoint são cerca de 15% mais eficientes do que o equivalente a Diesel para níveis de potência acima de 50% da potência nominal (MIROSH, 1994). Para níveis menores, o motor dual pode ser cerca de 5% menos eficiente do que o motor Diesel. Isto mostra que o desempenho do motor depende das condições de tráfego do ônibus (MIROSH, 1994).

Uma substituição média típica de Diesel de cerca de 55% a 70% pode ser conseguida com sistemas de injeção mecânica, e 70% a 80% com sistemas de injeção eletrônica (ORLANDO, 1998).

As tabelas 28 e 29 apresentam as emissões de um motor convertido para Gás Natural com o kit AFS para o combustível Dual, com e sem catalisador no seu escapamento, e em comparação com a legislação do Brasil no ano de 2002.

Tabela 28: Emissões de um motor Mercedes Benz OM 366LA com kit Dual Fuel, kit AFS, em g/kWh, sem catalisador, University of Alberta (1997) - ENSAIO 13 PONTOS.

POLUENTE	BRASIL 2002	DIESEL	DUAL
CO	4,00	2,60	8,30
NO <sub>x</sub>	7,00	9,50	7,20
HCNM	1,10	0,30	0,60
CH <sub>4</sub>		0,00	4,00
CO <sub>2</sub>		756	629
SO <sub>x</sub>		1,40	0,60

Fonte: (UNIVERSITY OF ALBERTA, 1997)

Tabela 29: Emissões de um motor HINO K13U, aspirado naturalmente, com kit Dual Fuel, kit AFS, em g/kWh, usando catalisador.

POLUENTE	BRASIL 2002	ANTES DO CATALIS.	DEPOIS DO CATALIS.
CO	4	7,10	0,20
NO <sub>x</sub>	7	6,70	6,80
HCNM	1,10	0,90	0,20
MP	0,15	0,091	0,076

Fonte: (ORLANDO, 1998)

Pode-se observar que o uso do sistema Dual Fuel faz com que o teor de CO nos gases de exaustão apresentem tendência de elevar-se quando comparados com

os níveis de emissão do mesmo motor consumindo apenas diesel<sup>100</sup>. Esta é uma característica também do motor Dedicado a gás natural<sup>101</sup> (MARGULIS, 1990; SALA, 1999). Em compensação, o teor de material particulado na exaustão, é bem maior quando se usa o combustível diesel<sup>102</sup> (ORLANDO, 1998; LASTRES, 1991).

De forma geral pode-se perceber que os problemas associados aos possíveis aumentos dos níveis de emissão de gases com o uso de kits Dual Fuel poderiam ser solucionados mediante utilização de equipamentos de pós-combustão adequados (catalisadores de oxidação de CO e HC). Devido às constantes e cada vez mais restritas regulamentações de emissão de poluentes em veículos comercializados no Brasil torna-se, também, cada vez mais indispensável, e inevitável, o uso de catalisadores em todos os futuros veículos de caráter rodoviário do país nos próximos anos. A viabilização destes equipamentos (kits Dual Fuel) também deverá passar por implementação de dispositivos de pós-tratamento das emissões de gases poluentes<sup>103</sup>.

#### 4.4.1 – Resultados dos testes com motores naturalmente aspirados

Dois ônibus da CCTC, em São Paulo, foram convertidos para operação com tecnologia Dual Fuel, respectivamente identificados por 9227 e 9228. São do modelo Mercedes Benz OM 366 NA, aspirados naturalmente, tendo ambos em torno de 7 anos de vida. O teste foi considerado apropriado devido a duas razões: (1) Serem

---

<sup>100</sup> Existem estudos que avaliam a dosagem ideal da injeção piloto de diesel da combustão Dual Fuel com o objetivo de se encontrar melhores níveis de emissão para as diferentes condições de carga e rotação (LIN, 2003).

<sup>101</sup> Os motores do ciclo diesel tendem a ter menores níveis de emissão de NOx, HC e CO por unidade de energia transformada, quando comparados com motores do ciclo Otto. Em compensação são maiores os níveis de emissão de Particulados, Hidrocarbonetos Aromáticos e Policíclicos (PAH'S) e SOx (CHUNG, 2006; SALA, 1999). Estudos nacionais e internacionais tem apresentado forte relação entre a exposição humana a PM10 e PAH's com a incidência de câncer (SALDIVA, 2005; COHEN, 2004; TOMATIS, 1990; HEMMINKI and PERSHAGON, 1994; POPE et al, 2002; BALDASSARI, 2005; DOCKERY et al, 1993; NYBERG et al, 2000; ROEMAR, 2001; TAVARES, 2004; LIN, 2006; ABRANTES, 2003). Alguns estudos relacionam os níveis de SOx e Ozônio, também, à mortalidade, principalmente em áreas de grande concentração e atividade humana (SALDIVA, 2005). Os principais poluentes com características carcinogênicas e com associação com aumento dos níveis de mortalidade estão associados às emissões de poluentes associados à queima do óleo diesel. Segundo Baldassari (2005) os níveis de emissão de motores a diesel (consumindo diesel) são 50 vezes superior para a emissão de PAH'S e 30 vezes superior para emissão de PM10.

<sup>102</sup> Outra vez destaca-se a importante observação de que todas as colocações apresentadas em favor do gás natural, do ponto de vista de desempenho ambiental, sobre a tecnologia diesel, refere-se, apenas, aos motores do ciclo diesel convencionais (sem gerenciamento eletrônico e sem dispositivos de pós-combustão dos gases) testados nos experimentos acima.

<sup>103</sup> Catalisadores de oxidação, por exemplo, ou até mesmo dispositivos de recirculação dos gases, filtro de particulados e redutor catalítico seletivo - SCR.

motores já bastante usados; (2) As linhas serem convencionais (tráfego intenso da capital paulista).

Dois ônibus da Viação Santa Madalena, em São Paulo, foram convertidos, também, para operação com a tecnologia Dual Fuel. São do modelo Mercedes Benz OM 366 NA (identificado por 36717) e LA (identificado por 35727), respectivamente naturalmente aspirado e turbinado. Neste caso, os ônibus são novos e as linhas também são convencionais (tráfego intenso da capital paulista).

As tabelas 30 e 31 apresentam um resumo do desempenho dos ônibus da CCTC, da Viação Santa Madalena e do teste realizado pelo CENPES/PETROBRAS em 1991, juntamente com suas variações (igual a duas vezes o desvio padrão).

Tabela 30: Características dos testes com ônibus da CCTC (1997), Viação Santa Madalena (1997 e 1998) e CENPES (1991)

ÔNIBUS	PERÍODO	DIAS	DIESEL		GÁS	
			km	litros	km	m <sup>3</sup>
9227	24/05 a 24/07	34	9229	1713	10069	2353,2
9228	14/07 a 20/08	19	5695	1052	5265	1529,0
36717	02/09 a 18/11	37	4672	957	4672	1740,6
35727	18/12 a 20/02	45	8818	1532	8818	2892,6
CENPES	01/01 a 31/01	31	6002	767	6002	1922,0

Fonte: (ORLANDO, 1998)

Tabela 31: Resumo do desempenho dos ônibus da CCTC (1997),

da Viação Santa Madalena (1997 e 1998) do CENPES (1991)

ÔNIBUS	DIESEL (km/l)	GAS (km/m <sup>3</sup> )	EQUIV. (km/l)	SUBSTIT. (%)
9227	5,39 ± 4,67	4,28 ± 2,25	2,38 ± 0,86	56 ± 24
9228	5,41 ± 5,28	3,44 ± 3,18	2,10 ± 1,06	61 ± 30
36717	4,88 ± 6,21	2,68 ± 0,97	1,73 ± 0,81	65 ± 20
35727	5,76 ± 2,76	3,05 ± 1,19	1,99 ± 0,63	65 ± 11
CENPES	7,83 ± 1,01	3,12 ± 0,30	2,23	72

Fonte: (ORLANDO, 1998)

Uma análise da tabela acima indicou uma variação do consumo equivalente da mesma ordem de grandeza do diesel puro. Também, muito embora exista uma flutuação grande do consumo durante o mês, a média mensal tende para um valor com pequena flutuação para testes de no mínimo 18 dias (ORLANDO, 1998). Como consequência, pode-se dizer que testes de mais longa duração não contribuem muito para uma determinação mais precisa da média de consumo e de substituição de óleo diesel, servindo apenas para a confiabilidade de sua operação. (ORLANDO, 1998).

Pode-se observar que o consumo equivalente dos dois ônibus da CCTC se encontra na mesma faixa do que foi obtido pelo CENPES (2,23 km/l ou 45 l/100 km). Entretanto, o percentual de substituição de diesel se encontra um pouco mais baixo. Algumas hipóteses podem ser levantadas para explicar estas diferenças (ORLANDO, 1998).

A tabela 31 mostra que valores maiores de substituição implicam em valores maiores de consumo (menor km/l<sub>e</sub>). Se os três valores, para os três ônibus com aspiração normal, forem colocados, respectivamente, num gráfico, verifica-se uma variação quase linear. A escolha é uma solução de compromisso entre o valor de substituição do óleo diesel (nível de emissões) e o preço do gás natural, o que determinará o nível aceitável de consumo.

Finalmente, o índice de particulados nos gases de exaustão do motor do ônibus 9227 da CCTC foi medido pela transparência da fumaça (Opacidade) emitida pelo motor através de um Opacímetro. O valor encontrado para o Diesel puro foi de 2,0 m<sup>-1</sup>; para o mesmo motor equipado com tecnologia Dual Fuel o valor encontrado foi de 0,4 m<sup>-1</sup> (ORLANDO, 1998).

#### **4.4.2 – Resultado dos testes com motor turbinado.**

O motor turbinado do ônibus 35727 da Viação Santa Madalena, convertido para operação com sistema Dual Fuel, operou durante 45 dias num período de 2 meses sem praticamente qualquer problema mecânico incomum. Teve de fazer apenas duas auto-calibrações de seu kit de conversão e reparar apenas uma vez o regulador de pressão. A variação de seu desempenho foi bem menor do que com o motor aspirado, conforme indicado da tabela anterior e o número de dias necessários para obtenção de uma pequena variação na média de desempenho foi de 6 dias

apenas. Apresentou taxa de substituição média de 65% de diesel. Uma análise deste teste com o fabricante do kit indicou que este desempenho poderia ser melhorado através da inserção de sensor anti-detonante (ORLANDO, 1998).

O índice de particulados nos gases de exaustão do motor do ônibus 35727 da Viação Santa Madalena foi medido pela transparência da fumaça (opacidade). O valor encontrado para o Diesel puro foi de  $2,09 \text{ m}^{-1}$ ; para o para o motor com tecnologia dual fuel o valor medido foi de  $0,12 \text{ m}^{-1}$  (ORLANDO, 1998).

Depois desta fase de teste, resolveu-se, sem qualquer controle, operar o ônibus por mais quatro meses, perfazendo um total de 22.141 km, com uma substituição média global caindo para 51%, indicando a necessidade de ajustes periódicos no kit (ORLANDO, 1998).

#### **4.5 – A experiência da empresa de ônibus TREL – Rio de Janeiro (2006)**

Este teste experimental com tecnologia Dual Fuel em ônibus urbano encontra-se em operação na cidade de Duque de Caxias, parceria entre a empresa operadora TREL, a Companhia Estadual de Gás – CEG e a empresa detentora da tecnologia Dual Fuel no país – Civic Corp, e pode ser considerado como o mais recente teste em operação no país hoje. Os testes foram iniciados em janeiro de 2006. A tabela 32 apresenta alguns dos indicadores de desempenho do veículo em termos de consumo de combustível <sup>104</sup>. O veículo foi comparado com outro veículo similar rodando em mesmas condições somente com óleo diesel. Segundo a empresa de ônibus não houve nenhuma parada por falha do equipamento, sendo realizados pequenos ajustes apenas nos horários em que o veículo encontrava-se já recolhido na garagem.

---

<sup>104</sup> A economia de combustível foi transformada em reais. Foram comparados dois veículos com o mesmo ano de fabricação e mesmo motor MWM em chassi Volkswagen 17.210. Os veículos trafegam na mesma linha e em mesmas condições de operação.

Tabela 32: Resumo do desempenho energético do ônibus Dual Fuel – empresa TRELL (Duque de Caxias)<sup>105</sup>.

QUADRO COMPARATIVO												
VEÍCULO DUAL FUEL - VW 17.210 C / AR Nº FROTA: 165.104 / VEÍCULO DIESEL - VW 17.210 C AR Nº FROTA: 165.063												
MÊS	TECNOLOGIA	km/mês	DIESEL (l)	CUSTO C/ DIESEL (R\$)	PORCENT. DIESEL (%)	GNV (M3)	CUSTO C/ GNV (R\$)	TAXA DE SUBSTITUIÇÃO (%)	AUTONOMIA VEÍC. DIESEL (km/l)	AUTONOMIA VEÍC. DUAL (km/l <sub>eq</sub> )	CUSTO TOTAL C/ COMBUSTÍVEL DUAL (R\$)	CUSTO/km (R\$)
MARÇO	(DUAL FUEL)	8.736	1.167,10	1.820,68	32,53	2.420,90	2.718,81	67,47	-	2,43	3.999,49	(-21,1%) 0,45
	165063 / DIESEL	11.766,96	4.302,00	6.711,12	-	-	-	-	2,74	-	-	0,57
ABRIL	(DUAL FUEL)	7.698	963,10	1.502,44	33,78	1.888,03	1.699,23	66,22	-	2,70	3.201,67	(-25,5%) 0,41
	165063 / DIESEL	9.079,00	3.241,60	5.056,89	-	-	-	-	2,80	-	-	0,55
MAIO	(DUAL FUEL)	8.710	845,00	1.318,20	26,54	2.339,76	2.105,78	73,46	-	2,73	3.423,98	(-26,4%) 0,39
	165063 / DIESEL	11.506,22	3.946,90	6157,16	-	-	-	-	2,92	-	-	0,53
TOTAL	(DUAL FUEL)	25.144	2.975,20	4.641,32	30,95	6.648,69	5.983,82	69,05	-	2,62	10.625,14	(-23,6%) 0,42
	165063 / DIESEL	32.352,18	11.490,50	17.925,17	-	-	-	-	2,82	-	-	0,55

136

Fonte: (FETRANSPOR, 2006)

<sup>105</sup> Os cálculos de custo com combustível foram realizados considerando o preço do óleo diesel como sendo R\$ 1,56 e o preço final do gás natural com sendo R\$ 0,90. Na avaliação acima foi considerado 1 m<sup>3</sup> de gás natural = 1 litro equivalente de diesel.

Os resultados apresentados na tabela acima demonstram uma evolução dos índices de substituição do óleo diesel pelo gás natural o qual chegou a alcançar 69,05% de substituição média. Esta evolução se deu pelo melhor ajustamento do kit de conversão às condições de uso e operação do veículo. Para a taxa média de substituição alcançada, de 69,05%, estimou-se um ganho econômico com combustível da ordem de 23,6%, o que poderá justificar plenamente, em termos econômicos, a aplicação desta tecnologia no transporte coletivo de passageiros do Brasil. Alguns dos indicadores apresentados na tabela 32 serão considerados em nosso capítulo final para a análise da viabilidade econômica do uso do gás natural veicular em ônibus urbanos.

#### **4.6 – Custos associados à tecnologia Dual Fuel**

Os veículos a diesel convertidos para o uso do gás natural através de kits de conversão Dual Fuel não possuem, necessariamente, custos associados à sua aquisição, uma vez que estes já são parte do patrimônio da empresa operadora de transporte. Os únicos custos referentes ao uso desta tecnologia estendem-se aos dispositivos de conversão (kit) e aos equipamentos embarcados de armazenamento do gás natural (suporte de cilindro, cilindros, tubulação e conexões, válvula de abastecimento, filtro e eletro-válvulas).

Como discutido antes, são poucas as empresas no mercado nacional realmente habilitadas no mercado de kits de conversão para ônibus urbanos. No mercado internacional também não são muitas as empresas que efetivamente desenvolveram com sucesso os kits Dual Fuel de conversão. A empresa CIVIC CORP possui um veículo teste convertido para o uso de gás natural com tecnologia Dual Fuel e apresenta-se disponível, hoje, para a comercialização dos kits no Brasil com tecnologia da Nova Zelândia. Apesar de existirem outros fabricantes de kits em outros países do mundo adotaram-se os valores de referência dos custos indicados pela empresa CIVIC CORP, diante da realidade apresentada para a pronta entrega dos equipamentos. Ver tabela 33.

Tabela 33: Preço da tecnologia Dual Fuel.

	CUSTO
Kit de Conversão Dual Fuel DIESELGÁS (CIVIC CORP)	R\$ 25.000,00
Equipamentos embarcados de armazenamento e compressão <sup>106</sup>	R\$ 5.000,00
<b>TOTAL</b>	<b>R\$ 30.000,00</b>

Fonte: (CIVIC CORP, 2006)

Com relação aos custos de manutenção dos veículos convertidos ao uso de gás natural veicular não se pode encontrar nenhum indicador confiável dos estudos e experiências já realizados no país. A justificativa maior reside no fato de esses estudos e experimentos terem sido de curta duração, o que impossibilita uma avaliação comparativa consistente. De qualquer forma foi inserida a variável custo de manutenção em veículos convertidos através da estimativa de custo total anual de manutenção dos kits de conversão adaptados aos veículos diesel originais. Uma estimativa proposta por um fabricante de kits de conversão Dual Fuel seria de 10% do valor total do kit por ano (CIVIC CORP, 2006). Todavia, como os veículos convertidos ao uso do gás natural possuem a maior parte da estrutura do motor diesel original, podemos simplificar a estimativa de custos associados à manutenção mecânica dos veículos convertidos para o uso de gás natural como sendo a soma dos custos convencionais anuais do veículo diesel convencional e os custos anuais de manutenção dos kits de conversão embarcados (10% do custo total do kit/ano).

<sup>106</sup> O número de cilindros de aço para essa operação está estimado em 4 cilindros de aço com capacidade de 30 m<sup>3</sup> cada. Isso para uma autonomia de 350 km por dia.

## CAPÍTULO 5 – TECNOLOGIA DE OTTOLISAÇÃO

A Ottolisação de um motor do ciclo diesel é mais um procedimento de conversão que vem sendo estudado para a aplicação do gás natural veicular no transporte público de passageiros aqui no Brasil. A transformação do motor de ciclo diesel para um motor de ciclo Otto não se dá de uma maneira simples, exigindo um elevado grau de intervenção no motor e possibilitando a substituição completa do óleo diesel por gás natural.

O procedimento de conversão compreende a descaracterização completa dos dispositivos de injeção do combustível diesel por aqueles associados ao gás natural. A bomba injetora será retirada, junto com o cabeçote e outros sistemas de alimentação e injeção de diesel, como bicos injetores. Em lugar dos bicos injetores serão acrescentadas velas de ignição próprias para o gás natural, e o cabeçote do motor diesel dará lugar a outro projetado especificamente para o ciclo Otto. Alguns estudos nacionais têm demonstrado que este tipo de transformação possibilita o funcionamento do motor a gás natural nas mesmas condições de torque e potência de um motor diesel original (JUNIOR, 1994; PETROBRAS, 2005A).

## 5.1 – Principais dispositivos da conversão

O mais conhecido projeto de Ottolisação no Brasil, que se deu entre 2004 e 2006, vem sendo realizado pela parceria entre PETROBRAS, Companhia de Gás do Estado do Rio Grande do Sul (SULGÁS), Transportadora Brasileira Gasoduto Bolívia-Brasil (TBG), Tomasetto Achille, Bee Engenharia e Sociedade de Ônibus União Ltda (SOUL). Este projeto foi desenvolvido e executado pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) (PETROBRAS, 2005A).

O trabalho promoveu a conversão de um motor Mercedes Benz OM 366 LA (ciclo diesel), para ciclo Otto num ônibus de transporte urbano típico, com o objetivo de avaliar o desempenho do motor e levantar dados técnicos, econômicos e ambientais, a partir dos testes de campo no trecho Intermunicipal Alvorada - Porto Alegre, operando em condições reais de operação com passageiros (PETROBRAS, 2005A). Todos os dispositivos deste kit de conversão estão apresentados abaixo:



Figura 16: a) Cabos de Vela de Competição; b) 6 Velas Modelo 683 559C.

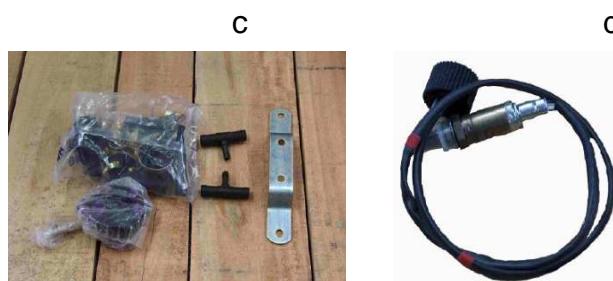


Figura 17: c) Conjunto de conectores e fixadores; d) Sonda Lambda LSH6 (4 Fios).



Figura 18: e) Borboleta ; f) 2 Válvulas Reguladora de Pressão.

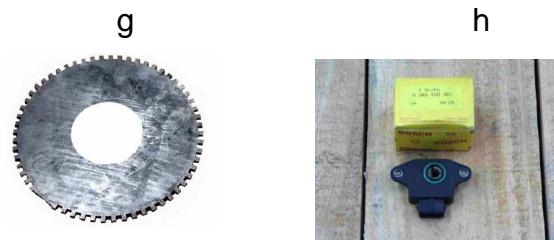


Figura 19: g) Volante Dentado; h) Sensor de Rotação (Bosch).



Figura 20: i) Centralina; j) Mangueiras.



Figura 21: l) 6 Pistões; m) Mesclador.

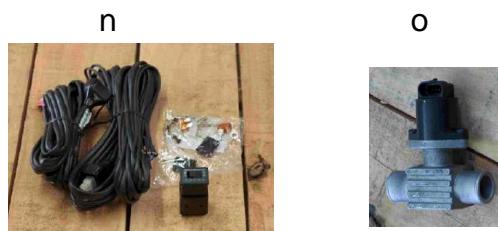


Figura 22: n) Conjunto de cabos e conectores elétricos; o) Válvula controladora de vazão de Gás.



Figura 23: p) Jogo de junta (Original Mercedes Bens);



O objetivo principal de ilustrar o kit de conversão de Ottolisação é demonstrar ao leitor o nível de complexidade e de intervenção necessários à operação de ônibus 100% a gás natural que não tenham sido produzidos de fábrica para este fim. Todavia, esta é mais uma das rotas tecnológicas que se apresenta, sendo testada aqui no Brasil, onde os resultados parecem ser bastante satisfatórios.

Os testes foram iniciados em setembro de 2004 e os resultados preliminares já sinalizam benefícios ambientais e econômicos, apresentando, adicionalmente, uma diminuição do ruído interno do veículo, o que leva a um maior conforto dos passageiros, bem como a redução dos custos relacionados ao combustível<sup>107</sup> (SANTOS, 2005). Outros estudos demonstraram valores menos expressivos do ponto de vista de desempenho comparado a um veículo diesel convencional<sup>108</sup>. Todavia serão considerados os resultados da experimentação do ônibus da PETROBRAS como referência no capítulo final desta dissertação sobre a viabilidade econômica do uso de gás natural em coletivos urbanos.

Os níveis de ruído ainda não foram medidos e comparados aos dos motores diesel, porém, segundo os operadores do veículo, os resultados já são favoráveis ao veículo Ottolisado. Os motoristas que estão sendo treinados com o ônibus a GNV demonstram satisfação com relação ao desempenho do veículo. A afirmação feita é de que o desempenho do motor a GNV seria semelhante ao do motor a diesel equipado com gerenciamento eletrônico de combustível. Um dos pontos que chama atenção é para o fato de o ônibus retomar velocidade após frenagem sem os desconfortáveis solavancos característicos do motor diesel. Esse é um fator que no longo prazo poderá reduzir desgastes em mancais de rolamento e aumentar a vida útil da carroceria (SANTOS, 2005).

Até final de 2005, três trechos característicos (na empresa SOUL), serão simulados com passageiros, isto é: o primeiro com curta distância e de poucas paradas; o segundo de distância média e paradas constantes e o terceiro, de longa distância e com bastante declividade. O objetivo desta experimentação é testar aspectos de desempenho e consumo do veículo convertido (SANTOS, 2005).

Dentro do planejamento deste projeto a parte de homologação de emissões está programada para o final do ano de 2005, e primeiros meses do ano de 2006. O objetivo desta fase será o teste em bancada do motor através do qual serão medidas as emissões relacionadas aos testes convencionais de homologação de motores novos. O objetivo é comparar as emissões do veículo Ottolisado com as emissões homologadas ao motor do ciclo diesel utilizado na conversão (OM 366 LA – Mercedes Benz). Esta é uma etapa importante, visto que, aparentemente, o veículo já apresentaria bons resultados de desempenho e consumo. O não atendimento aos

---

<sup>107</sup> 2,3 km/m<sup>3</sup>, contra os 2,5 km/l em relação ao diesel, para o mesmo trecho considerado.

<sup>108</sup> Ver Orlando (1998) e Pelkmans et al (2001)

padrões legais de emissões poderá comprometer consideravelmente esta iniciativa experimental de uso do gás natural através do kit de Ottolisação. Os resultados desta avaliação estão sendo aguardados e a PETROBRAS se dispôs a torná-los públicos logo que os testes com o ônibus sejam finalizados (SANTOS, 2002).

## 5.2 – Barreiras à Ottolisação

O processo de conversão de um motor do ciclo diesel (Ottolisação) é um processo relativamente complexo que necessita de kits apropriados para cada tipo de motorização, os quais deverão ser fornecidos por empresas especializadas. Uma empresa na Argentina<sup>109</sup> tem se qualificado para a fabricação destes kits, porém, os kits têm sido fabricados exclusivamente para aplicação em motores ciclo diesel com injeção mecânica.

Contudo, tal qual a inovação tecnológica da década de 90 para os veículos leves, quando a carburação passou a ser maciçamente substituída pela injeção eletrônica, os veículos urbanos do ciclo diesel também experimentam hoje a inovação da injeção eletrônica de diesel, processo esse que vem garantindo enorme salto no que tange a desempenho, consumo e emissões dos veículos diesel.

Devido às grandes diferenças entre o funcionamento do ciclo diesel convencional e do ciclo Otto, torna-se quase impossível o aproveitamento dos sistemas de injeção eletrônica dos novos motores diesel no processo de Ottolisação. Se um motor ciclo diesel eletrônico for submetido um processo de Ottolisação toda a eletrônica embarcada deverá ser desativada e retirada, o que poderá significar um retrocesso tecnológico.

A eletrônica embarcada dos novos veículos diesel, seu desempenho, seu baixo consumo e seus baixos níveis de emissão podem frear a possível utilização dos kits de Ottolisação. Todavia, vale ressaltar que a maior parte da frota de ônibus operante nas cidades brasileiras ainda opera através de motores mecânicos. Esses motores poderiam ser convertidos para o uso do gás natural, porém, o mercado potencial desta tecnologia de conversão estaria reduzido a uma geração de motores, a qual vem sendo substituída progressivamente pelos motores eletrônicos do ciclo diesel.

---

<sup>109</sup> Tomasetto Achille

O pequeno período de tempo disponível para o mercado potencial da Ottolisação poderá inviabilizar economicamente o processo de conversão de ônibus a diesel para o gás natural. Essa impossibilidade se dará tanto do lado dos empresários de transporte, os quais se verão limitados e inseguros de optar por tal tecnologia, quanto do lado dos fabricantes de kits que poderão não se sentir atraídos por um mercado limitado no tempo, isto é, apenas a uma geração de motores do ciclo diesel<sup>110</sup>. Todavia, vale a pena ressaltar de que toda essa análise se fundamenta na consideração de que as conversões de motores eletrônicos ciclo diesel para o ciclo Otto se tornarão inviáveis do ponto de vista econômico e ambiental. Mesmo porque cabe lembrar da revenda dos veículos após sua utilização nos grandes centros. Os possíveis veículos Ottolisados, utilizados nos grandes centros, precisarão ser reconvertidos para o ciclo diesel e posteriormente revendidos. Sendo assim, a reconversão de um dado motor Ottolisado para um possível ciclo diesel eletrônico original poderá se tornar uma tarefa complexa, principalmente se considerarmos os custos envolvidos neste processo de reconversão. Todos esses fatores tendem a inviabilizar a Ottolisação de motores eletrônicos do ciclo diesel, destacando-se as barreiras técnicas do processo, as quais acabarão por se refletir nos custos da aplicação desta rota tecnológica apresentada.

---

<sup>110</sup> motores com injeção mecânica

### 5.3 – Custos associados à tecnologia de Ottolisação

Como discutido anteriormente, a experiência mais recente de conversão de um ônibus do ciclo Diesel para o ciclo Otto encontra-se na cidade de Porto Alegre e foi desenvolvida e executada pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul em parceria com Petróleo Brasileiro S.A. (PETROBRAS), Companhia de Gás do Estado do Rio Grande do Sul (SULGÁS), Transportadora Brasileira Gasoduto Bolívia-Brasil (TBG), Tomasetto Achille, Bee Engenharia e a empresa de ônibus Sociedade de Ônibus União Ltda. Os valores associados aos custos desta rota tecnológica proposta foram apresentados em relatório específico pela PETROBRAS no início do ano de 2005 (PETROBRAS, 2005A). A relação destes custos (com pequenas correções) segue na tabela abaixo.

Tabela 34: Custo da Conversão – Ottolisação.

	CUSTO
Kit de Conversão - Ottolisação (Tomasetto Achile)	U\$ 5.000,00
Custos de importação	R\$ 9.000,00
Serviços de instalação	R\$ 8.000,00
Serviços de desinstalação - RECONVERSÃO <sup>111</sup>	R\$ 8.000,00
Equipamentos embarcados de armazenamento e compressão <sup>112</sup>	R\$ 7.000,00
<b>TOTAL</b>	<b>R\$ 43.000,00<sup>113</sup></b>

Fonte: (PETROBRAS, 2005A)

Por falta de indicadores para o custo de manutenção dos veículos convertidos pelo processo de Ottolisação, assume-se o custo de manutenção mecânica para estes veículos como sendo, também, 10% do valor total do kit instalado por ano<sup>114</sup> (somando-se a esse o custo convencional de manutenção de um motor diesel original).

<sup>111</sup> A reconversão de um veículo Ottolisado para o seu ciclo diesel original será considerada na avaliação de viabilidade econômica da rota de Ottolisação. Como o custo de reconversão é bem menor que aquele associado ao custo de oportunidade da revenda do veículo diesel usado, decidiu-se por inserir o custo de reconversão do veículo Ottolisado no modelo de viabilidade econômica desta rota tecnológica para que o mesmo possa desfrutar de sua revenda normal após sua utilização, em vida útil, como veículo dedicado ao uso do gás natural. As rotas de conversão Dual Fuel e de Ottolisação possibilitam a revenda do veículo após sua utilização com o uso do gás natural, sendo a reconversão do veículo Ottolisado mais complexa que aquela associada aos veículos Dual Fuel.

<sup>112</sup> O número de cilindros de aço para essa operação deverá ser maior do que a operação com a tecnologia Dual Fuel. A justificativa reside no fato de que na tecnologia Dual Fuel o consumo obrigatório de óleo diesel reduz uma parte do volume de gás (armazenado) necessário para a manutenção da mesma autonomia do veículo (em quilômetros). Estimou-se a utilização de 6 (seis) cilindros de aço com capacidade de 30 m<sup>3</sup> cada para o veículo convertido para o ciclo Otto (Ottolisação).

<sup>113</sup> U\$ 1,00 = R\$ 2,20

<sup>114</sup> Este foi o critério utilizado para estimar o custo com manutenção dos kits com Tecnologia Dual Fuel.

## CAPÍTULO 6 - MOTORES DIESEL MODERNOS

A inserção de ônibus a gás natural deve ser avaliada, também, em comparação com os novos e mais sofisticados motores do ciclo diesel. O grande apelo creditado ao melhor desempenho dos veículos movidos a gás natural poderá perder força com a entrada de motores do ciclo diesel projetados para funcionar com: óleo diesel de alta qualidade (ULSD<sup>115</sup>) e sistemas modernos de injeção eletrônica embarcados, associados com equipamentos de pós-tratamento dos gases.

Todavia, o grande desafio dos motores diesel do futuro reside em compatibilizar as exigências para redução dos padrões de emissão com a performance, durabilidade e eficiência energética dos motores diesel convencionais, sempre presentes na operação de transporte rodoviário pesado de cargas e de passageiros. As montadoras, nos países industrializados vêm superando com sucesso os desafios apresentados pelos padrões EURO III e EURO IV<sup>116</sup> (CASSIDY, 2006). O desafio parece aumentar a partir dos padrões EURO V, na Europa, e US 2007, nos Estados Unidos.

Alguns dispositivos previstos para os motores do ciclo diesel modernos podem ser listados como (CASSIDY, 2006):

- motores diesel eletrônicos (eletrônica embarcada que controla a injeção do diesel eletronicamente e de forma independente, em cada uma das câmaras de combustão)
- avançado sistema de injeção de diesel, com elevadas pressões de injeção (incluindo sistema de injeção piloto de diesel);
- novos projetos e desenhos da câmara de combustão e desenvolvimento de combustão com queima pobre;
- utilização de diesel com baixo teor de enxofre, estreita faixa de destilação e estreita faixa de densidade;
- avançado sistema de 2 estágios do turbo-compressor;

---

<sup>115</sup> Entende-se como óleo diesel de alta qualidade aquele com baixo teor de enxofre, faixa de destilação e faixa de densidade estreitas (controladas). A sigla ULSD – do inglês Ultra Low Sulphur Diesel, ou diesel com teor de enxofre ultra-baixo, é comumente empregada na literatura internacional para designar o óleo diesel com menos de 50 ppm de enxofre em massa. O uso do ULSD é requisito para o uso de alguns dispositivos de pós-tratamento dos gases da combustão (FILHO, 2006).

<sup>116</sup> No Brasil o padrão de emissão EURO IV só entrará em vigor no ano de 2009. Na Europa o padrão de emissão EURO V entrará em vigor em 2008.

- alternativas para o sistema de combustão visando o controle da temperatura dos gases da combustão;
- dispositivos para o controle da temperatura dos gases de exaustão;
- Sistema EGR (Exhaust Gás Recirculation) – recirculação dos gases do escapamento;
- DOC (Diesel Oxidation Catalysts) – catalisador de oxidação
- DPF (Diesel Particulate Filters) – Filtro de Particulados
- SCR NOx – Redutor Catalítico Seletivo para NOx.

Alguns dos dispositivos apresentados acima ainda não estão disponíveis e implantados comercialmente, outros já acompanham modelos de motores fabricados e comercializados no Brasil. Neste trabalho será realizada a apresentação de apenas alguns dos dispositivos citados acima, bem como uma estimativa do sobre-custo que deverá existir com a introdução destes equipamentos nos veículos diesel convencionais. Serão levantadas informações sobre motores diesel eletrônicos e dispositivos de pós-tratamento dos gases, previstos para os anos posteriores a 2009, no Brasil.

## 6.1 – O MOTOR DIESEL ELETRÔNICO

Uma inovação tecnológica dos motores diesel iniciou-se no transporte coletivo urbano em 1998, no Brasil, quando a MBB lançou seu primeiro modelo de chassi com motor de gerenciamento eletrônico (chassi 1417). A eletrônica embarcada nestes novos motores ciclo diesel os têm feito capazes de atenderem aos padrões de emissão do PROCONVE V, padrões estes em vigor no país em 2006. Porém, é importante perceber o imenso passo já alcançado para o desenvolvimento tecnológico destes motores. O gerenciamento eletrônico agregou enorme valor a estes veículos e os tornaram muito mais complexos que os seus antecessores com injeção mecânica.

Alguns fatos precisam ser analisados à luz da atualidade para que a visualização do uso do gás natural no transporte coletivo possa também contemplar o estágio tecnológico dos veículos do ciclo diesel atuais.

A substituição do uso do diesel pelo gás natural esbarra, além de na própria tecnologia necessária ao uso do gás, na tecnologia de motores a diesel que estará no mercado plenamente nos próximos anos. Os motores eletrônicos do ciclo diesel já prometem ser capazes de atender aos padrões já estabelecidos pelo PROCONVE VI<sup>117</sup>, os quais entrarão em vigor em 2009 (BRASIL, 2002). Para atendimento a esta nova norma resta, ainda, a expectativa da disponibilização, por parte da PETROBRAS, do óleo diesel de 50 ppm de enxofre capaz de permitir o melhor desempenho ambiental dos motores e, também, o uso dos equipamentos de pós-tratamento dos gases<sup>118</sup>. Dispositivos de pós-tratamento dos gases<sup>119</sup> ainda não são utilizados hoje no país devido ao alto teor de enxofre contido no diesel brasileiro, mesmo aqueles comercializados nas regiões metropolitanas (AFAEEVAS, 2005).

A eletrônica embarcada dos novos veículos a diesel poderá reduzir, consideravelmente, algumas das vantagens ambientais do uso do gás natural via tecnologias de conversão (kits Dual Fuel e kits de Ottolisação). Fato é que nenhuma experiência nacional de conversão de motores do ciclo diesel foi realizada utilizando-se motores gerenciados eletronicamente. Todos os principais projetos e iniciativas de pesquisa utilizaram motores com o sistema de injeção mecânica.

---

<sup>117</sup> Com o auxílio de dispositivos de pós-tratamento dos gases.

<sup>118</sup> Catalisadores de oxidação e redução, filtros de material particulado, dispositivos de recirculação dos gases, injeção de uréia (SCR – Redutor catalítico Seletivo), entre outros (AFAEEVAS, 2005).

<sup>119</sup> Em veículos do ciclo diesel.

A complexidade dada ao motor com eletrônica embarcada o faz não apenas mais eficiente, mas, também, capaz de diagnosticar possíveis falhas de funcionamento através de uma complexa malha sensorial distribuída pelo motor e controlada por uma central computadorizada (PLD)<sup>120</sup>. A percepção de falhas graves, ou a identificação de possível mal funcionamento dos sistemas, pode levar o módulo computadorizado a restringir o funcionamento normal do motor levando, desta maneira, a uma parada forçada do condutor do veículo para a realização das devidas correções necessárias. Este tipo de controle exercido pelo PLD (central computadorizada) poderá gerar conflitos com a entrada de uma nova central computadorizada dos kits de conversão. Será necessário um protótipo de kit Dual Fuel inteligente o bastante para se harmonizar com a complexa eletrônica de injeção e diagnose dos motores eletrônicos do ciclo diesel atuais<sup>121</sup>. No caso dos motores convertidos por Ottolisação, dificilmente se poderá aproveitar a sofisticada eletrônica diesel em favor do novo ciclo Otto de conversão.

A utilização de kits de conversão Dual Fuel em motores eletrônicos do ciclo diesel se apresenta, apesar das dificuldades aparentes, possível de se viabilizar comercialmente, desde que projetos e iniciativas de experimentação possam, também, contemplar a realidade atual dos motores ciclo diesel eletrônicos.

Os kits de conversão Dual Fuel podem ser desenvolvidos com um sistema próprio de gerenciamento eletrônico, sendo este capaz de se comunicar com o gerenciamento eletrônico do próprio motor diesel já existente. O gerenciamento eletrônico do kit de conversão deverá inibir os sinais do gerenciamento do motor e simular outros sinais próprios para possibilitar o funcionamento do motor com o uso dos dois combustíveis simultaneamente. A utilização do kit Dual Fuel em motores eletrônicos revela-se oportuna e viável do ponto de vista tecnológico, porém, o nível de sofisticação destes kits deverá superar àqueles já apresentados e testados no país.

---

<sup>120</sup> O PLD (PUMPE-LEITUNG-DUSE) é nome dado ao dispositivo de gerenciamento eletrônico dos novos motores diesel da Mercedes Benz. Este módulo fixa-se diretamente no bloco do motor e integra as funções de controle e monitoramento do funcionamento do motor. O PLD apresenta uma série de vantagens ao motor; através de pulsos no volante, ele reconhece, em marcha lenta, qual cilindro fornece que potência em cada instante. O módulo PLD pode corrigir o débito das unidades de injeção individuais, de acordo com valores limites pré-definidos, de forma que todos os cilindros fornecem a mesma potência (GUANABARA DIESEL, 2005). Este dispositivo foi o primeiro a entrar no mercado brasileiro, em 1998, e é um dispositivo da montadora MBB. Outras montadoras no Brasil, como a VOLKSWAGEN, também possuem motores com injeção eletrônica, todavia com nomenclaturas próprias para seus dispositivos eletrônicos embarcados.

<sup>121</sup> Motores Eletrônicos comercializados no Brasil no ano de 2006.

Por sua vez a Ottolisação do motor ciclo diesel tem se mostrado bastante promissora após o desenvolvimento do projeto do ônibus a gás na cidade de Porto Alegre, coordenado pela PETROBRAS e Universidade Federal do Rio Grande do Sul. O projeto ganhou visibilidade nacional e expôs a rota tecnológica da Ottolisação como uma possível opção para a substituição do óleo diesel no transporte coletivo urbano. Porém, ressalta-se novamente aqui o fato de esta experiência estar novamente alicerçada sobre a tecnologia de injeção mecânica, e não a de injeção eletrônica.

Analizando-se simplesmente do ponto de vista técnico, a Ottolisação de um motor ciclo diesel com injeção eletrônica não apresentaria grandes diferenças em relação a de um ônibus com injeção mecânica. A distância entre as duas possibilidades está relacionada às diferenças de geração de motores envolvida. A Ottolisação de um motor eletrônico pode ser viável do ponto de vista técnico, mas poderá se tornar inviável quando forem analisadas questões de evolução tecnológica, desperdício de recursos e incertezas quanto ao sucesso de reconversão do veículo após seu uso com gás natural veicular, sem tratar, ainda, das questões de emissão de poluentes, uma vez que os motores diesel eletrônicos já atendem, em homologação, aos níveis da fase V do PROCONVE.

A rota tecnológica de Ottolisação terá que convencer os operadores de transporte a retrocederem na nova tecnologia que eles adquiriram, para poder se inserir no novo cenário de mercado dos próximos anos. Este parece ser um desafio relativamente significativo ainda não contemplado por nenhuma experiência nacional conhecida. A Ottolisação poderá perder espaço não pelo seu potencial de substituição de diesel por gás natural, mas por seu grau de interferência nos motores a diesel (mecânico e eletrônico). Este fato haverá de dividir opiniões quanto às incertezas relacionadas à reconversão do veículo, além, é claro, do aparente retrocesso tecnológico quando avaliando o avanço das montadoras de motores nos últimos anos.

A realidade em 2006 é que os motores eletrônicos têm ganhado cada vez mais a atenção dos operadores do transporte coletivo devido às suas novas funções agregadas. A solidificação deste produto no mercado só aumenta as barreiras para a entrada dos kits de conversão. Seria extremamente oportuno que novas experimentações, com rotas tecnológicas de conversão, surgissem o quanto antes com fins à desmistificação, ou possível comprovação, da real viabilidade técnica, econômica e ambiental destas alternativas tecnológicas existentes.

Aliada à eletrônica embarcada dos novos motores diesel eletrônicos soma-se, também, a elevação dos níveis da pressão de injeção feita pelos bicos injetores sobre a câmara de combustão. Maiores taxas de compressão na injeção cooperam para a melhor pulverização da injeção o que, consequentemente, favorece a queima mais completa do combustível injetado<sup>122</sup>. Através de um sistema conhecido como *common rail*, maiores pressões de injeção vêm sendo possíveis em motores do ciclo diesel modernos. A injeção eletrônica do diesel também tem permitido um número maior de injeções, na câmara de combustão, por ciclo de combustão do motor. Isso significa que injeções pilotos podem ser empregadas para otimizar, também, a queima do combustível dentro da câmara de combustão. O objetivo deste procedimento é, também, reduzir os níveis de ruído dos motores do ciclo diesel (BITTNER, 2006; WILL, 2006).

## 6.2 - Sistemas de Pós-Tratamento dos Gases de Exaustão

Não existe no Brasil, em 2006, ônibus urbanos fabricados pelas montadoras nacionais, visando o mercado nacional, que sejam equipados com algum sistema de pós-tratamento dos gases. Uma das principais justificativas para esta inexistência reside na relativa distância entre os padrões nacionais de emissão de veículos do ciclo diesel, e os padrões de emissão de países industrializados<sup>123</sup>. Outro fator importante que sempre impediu a utilização de equipamentos de pós-combustão dos gases no Brasil foram os elevados níveis de concentração de enxofre do óleo diesel brasileiro<sup>124</sup>. Os dispositivos de pós-tratamento dos gases são, em quase sua totalidade, extremamente sensíveis, tornando-se rapidamente ineficientes, aos elevados níveis de concentração de enxofre do óleo diesel. Dispositivos de pós-tratamento de gases dos motores diesel começam a se tornar tecnicamente viáveis com a utilização de um óleo diesel com 50 ppm de enxofre, óleo este que passará a ser disponibilizado no mercado interno somente em 2009.

---

<sup>122</sup> Menores emissões de material particulado são conseguidas, sem necessariamente aumentar as emissões de NOx (CASSIDY, 2006). Todavia existe uma limitação para este tipo de tecnologia. Existe uma relação bastante significativa entre as emissões de MP e NOx. Processos que normalmente tendem a diminuir as emissões de MP passam a favorecer a emissão de NOx, e vice-versa. A emissão destes poluentes vem sendo reduzida, porém equilibrando-se sempre a emissão conjunta dos mesmos.

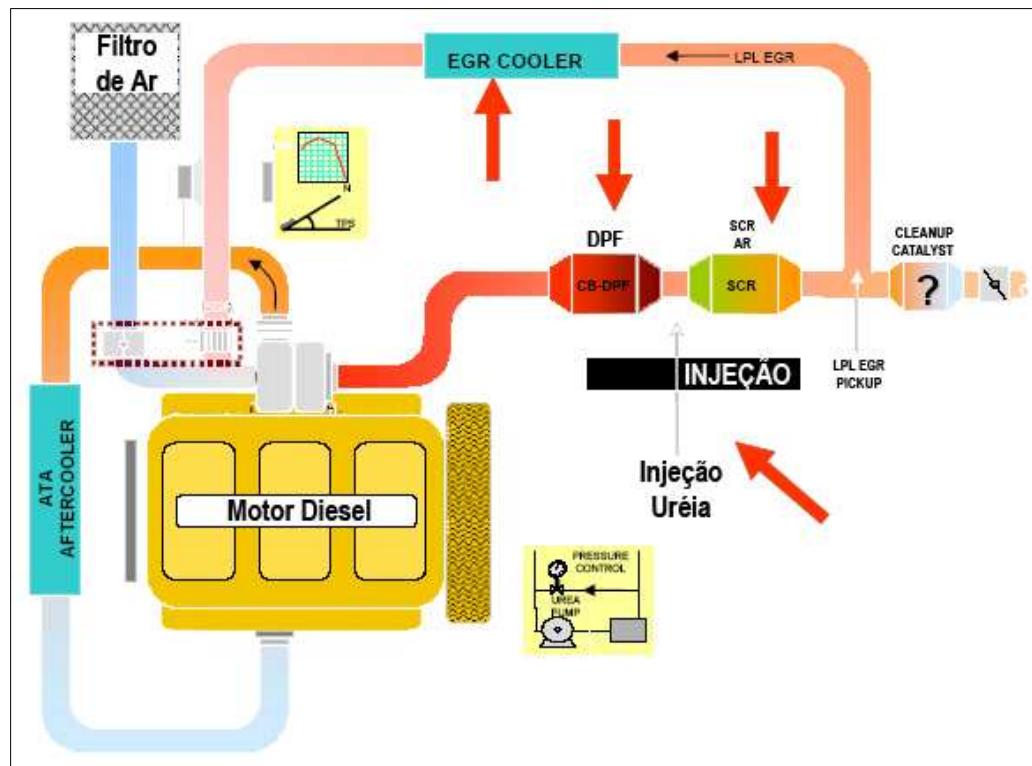
<sup>123</sup> Na Europa, os padrões de emissão de veículos diesel EURO V entrarão em vigor em 2008. No Brasil, os padrões de emissão equivalentes ao EURO IV entrarão em vigor apenas em 2009.

<sup>124</sup> Os níveis de concentração de enxofre do óleo diesel brasileiro vêm caindo consideravelmente nos últimos 10 anos. Após a Resolução 15 da ANP de 17 de julho de 2006, a PETROBRAS já está disponibilizando o diesel S500 (500 ppm de enxofre) em todas as 15 maiores regiões metropolitanas do país. A meta para 2009 é a disponibilização do diesel S50.

Seguirá abaixo a descrição resumida de alguns dispositivos de pós-tratamento já disponibilizados comercialmente e que começam a ser utilizados no mercado internacional. Após a exposição sucinta destes será apresentada a ordem de grandeza dos sobre-custos destes dispositivos com o objetivo de se comparar, no capítulo final desta dissertação, o desempenho econômico dos veículos a gás natural com aquele relacionado aos veículos diesel modernos (gerenciamento eletrônico e sistemas de pós-tratamento dos gases).

## 6.2.1 O Sistema de Pós-Tratamento (Ônibus Diesel) Previsto para 2008 na Europa – EURO V.

Os padrões de emissão de poluentes previstos para os veículos pesados movidos a diesel, na Europa com Padrão EURO V, vêm sendo atendidos segundo a proposta de inserção dos seguintes dispositivos de pós-tratamento dos gases, da figura a 27<sup>125</sup>.



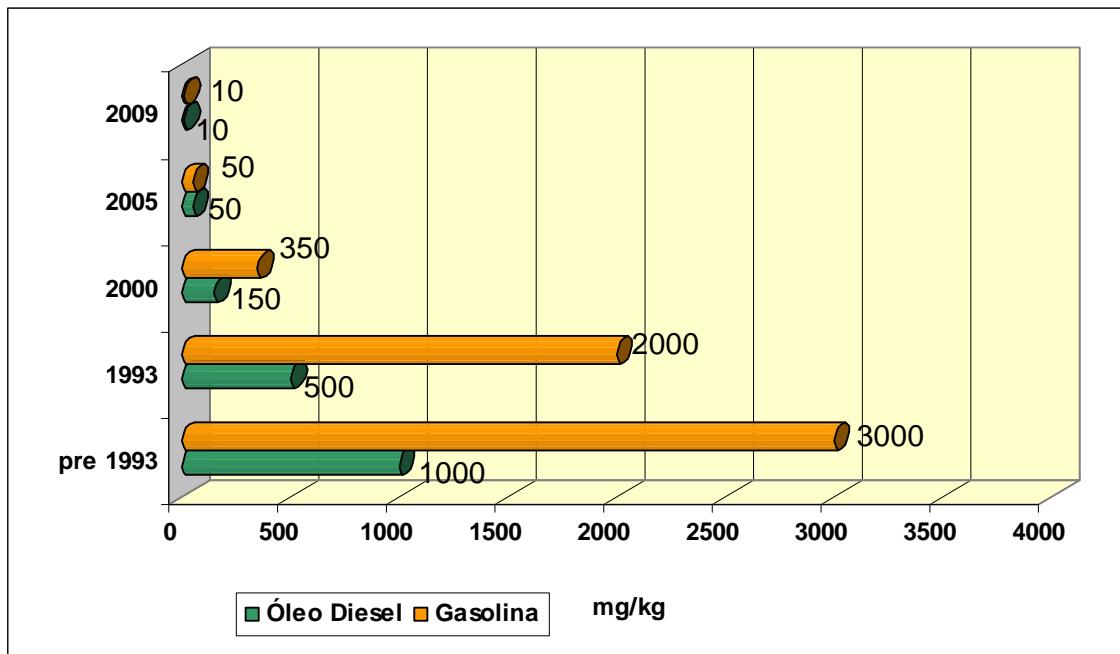
Fonte: (CUMMINS, 2005B)

Figura 27: Sistema completo de pós-tratamento dos gases de um ônibus diesel padrão EURO V.

Boa parte dos sistemas de pós-tratamento, como catalisadores, são extremamente sensíveis ao teor de enxofre presente no óleo diesel, perdendo eficiência e performance, e em outros casos sendo danificados de forma irreversível. Na Europa, segundo a Diretiva 2003/17/CE da Comunidade Européia, em 2009 o óleo

<sup>125</sup> O sistema prevê a utilização de um filtro de material particulado, chamado de DPF, um sistema de redução de NOx, chamado de SCR, um sistema de recirculação de gases chamado EGR, e um catalisador final para permitir a oxidação da amônia utilizada pelo sistema SCR.

diesel não poderá ser comercializado com teores de enxofre superiores a 10 ppm. A figura 28 ilustra a evolução dos níveis de concentração de enxofre no diesel comercializado na Europa, com fins à introdução dos modernos dispositivos de pós-tratamento dos gases de exaustão.

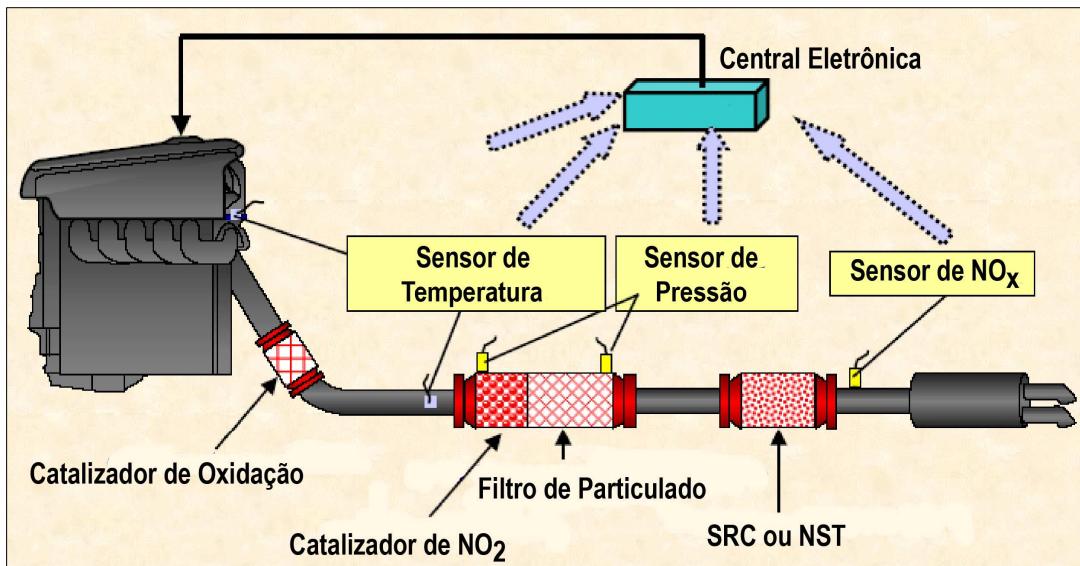


Fonte: (AVELLA, 2005)

Figura 28: Gráfico da evolução da concentração de enxofre no diesel da Europa.

### 6.2.2 – O Catalisador de Oxidação para Sistemas de Exaustão – Veículo Diesel - DOC

O catalisador de oxidação para um veículo diesel é um sistema convencional que visa a oxidação do CO e do HC presentes nos gases de escapamento. Este sistema é relativamente sensível à concentração de enxofre no diesel e raramente tem sido utilizado separadamente para atendimento de padrões de emissão EURO IV e EURO V. Normalmente vem associado a outros dispositivos de pós-tratamento dos gases. Geralmente é adicionado ao sistema de pós-tratamento como o primeiro elemento a reduzir níveis de emissão, segundo figura 29.



Fonte: (AVELLA, 2004)

Figura 29: Sistema de pós-tratamento completo com catalisador de oxidação.

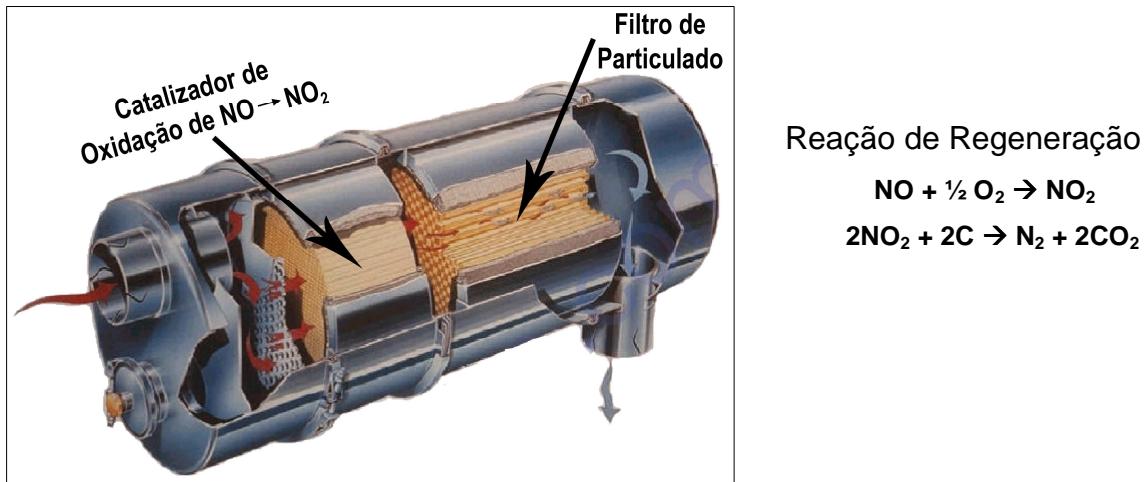
### 6.2.3 – O Filtro de Particulado – DPF

O sistema conhecido como DPF visa a redução dos níveis de material particulado dos veículos do ciclo diesel. Existem dois tipos de filtro de material particulado disponíveis no mercado. O primeiro é o CR-DPF (Continuous Regeneration Diesel Particulate Filter), também conhecido como CRT™ (Continuously Regenerating Trap). O segundo tipo é CDPF (Catalytic Diesel Particulate Filter).

O sistema DPF que mais vem sendo utilizado para veículos pesados é CR-DPF, sendo este aquele que apresentaremos com maiores detalhes. O CR-DPF apresenta um pré-catalisador de oxidação o qual tem a função de promover a oxidação do NO em  $NO_2^{126}$  (VERGANI, 2005). O objetivo desta conversão é a regeneração posterior do material particulado acumulado no filtro de particulados (processo conhecido como regeneração do filtro de particulados) (AVELLA, 2005). O

<sup>126</sup> Este catalisador também promove a oxidação do HC e do CO (VERGANI, 2005).

material particulado acumulado é eliminado mediante reações químicas<sup>127</sup> do carbono retido com o NO<sub>2</sub> fornecido pelos gases do escapamento, e pelo pré-catalisador de oxidação do CR-DPF. É necessária a utilização de óleo diesel com concentração inferior a 50 ppm de enxofre<sup>128</sup>. A figura 30 ilustra o dispositivo CR-DPF.



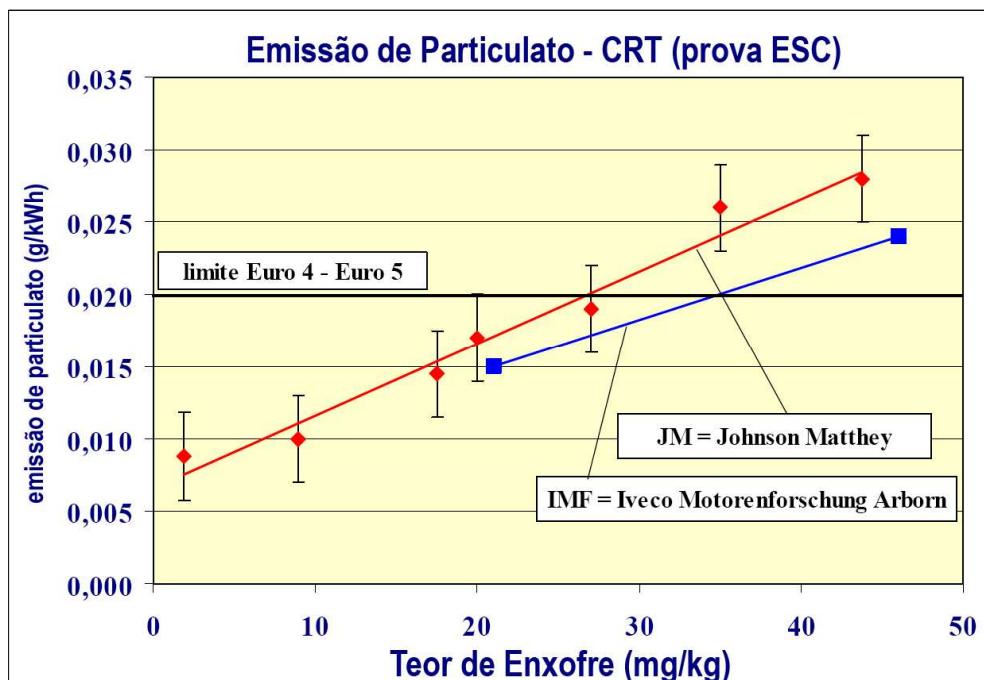
Fonte: (AVELLA, 2005; MATTHEY, 2006)

Figura 30: Filtro de Particulado tipo CR-DPF (fabricante: Johson Matthey)

A sensibilidade do filtro CR-DPF ao teor de enxofre do óleo diesel pode ser observada no gráfico da figura 31, para dois fabricantes distintos do mesmo produto.

<sup>127</sup> As reações são otimizadas sob temperaturas entre 300 e 400 °C (VERGANI, 2005). Os sistemas de DPF apresentam a tendência de reduzir a eficiência energética dos motores, uma vez que a contra-pressão associada à passagem dos gases do escapamento eleva-se (perda de carga).

<sup>128</sup> A utilização de óleo diesel com concentração superior a 50 ppm apresentará ineficiência da regeneração do material particulado acumulado no filtro, elevando a restrição à passagem dos gases pelo escapamento, aumentando a perda de carga e elevando o consumo do veículo. Altos teores de enxofre forçam a emissão de maiores níveis de SO<sub>2</sub> o qual passa a exercer competitividade sobre a oxidação do NO no pré-catalisador de oxidação do filtro CR-DPF. SO<sub>2</sub> passa ser oxidado a SO<sub>3</sub> competindo com a oxidação do NO para NO<sub>2</sub> (AVELLA, 2005). A oxidação do NO em NO<sub>2</sub> é essencial para a regeneração do material particulado acumulado no filtro de particulados propriamente dito. A formação e maior emissão de SO<sub>3</sub> pode gerar um problema secundário de emissões, uma vez que estes sulfatos possuem características ácidas podendo comprometer o sistema de pós-tratamento (vida útil) além da emissão de gases que podem vir a formar ácido sulfúrico, na atmosfera ou mesmo no sistema de escapamento do veículo.

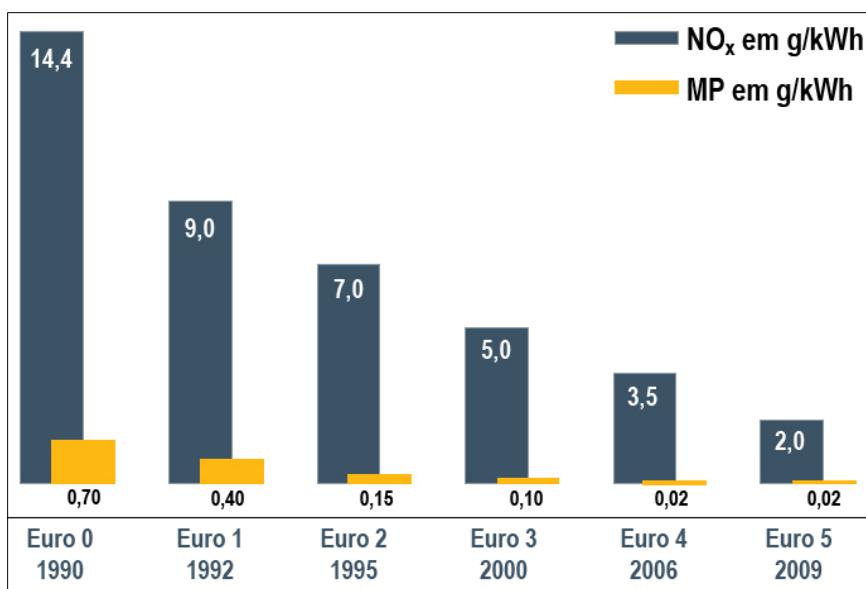


Fonte: (AVELLA, 2005)

Figura 31: Redução dos níveis de material particulado utilizando-se CR-DPF (dois fabricantes diferentes) com diferentes níveis de concentração de enxofre no óleo diesel

#### 6.2.4 – O Sistema Catalítico Seletivo – SCR

Nos motores do ciclo diesel, a redução dos níveis de emissão de poluentes regulamentados vem se concentrado, de maneira especial, sobre os níveis de material particulado e  $\text{NO}_x$ . A redução dos níveis de  $\text{NO}_x$  vem se mostrando um desafio significativo, o qual levou a mercado a se adequar através de dispositivos de tratamento dos gases cada vez mais sofisticados. A figura 32 apresenta a evolução dos níveis de emissão de material particulado e  $\text{NO}_x$ , na Europa.



Fonte: (MAN, 2006)

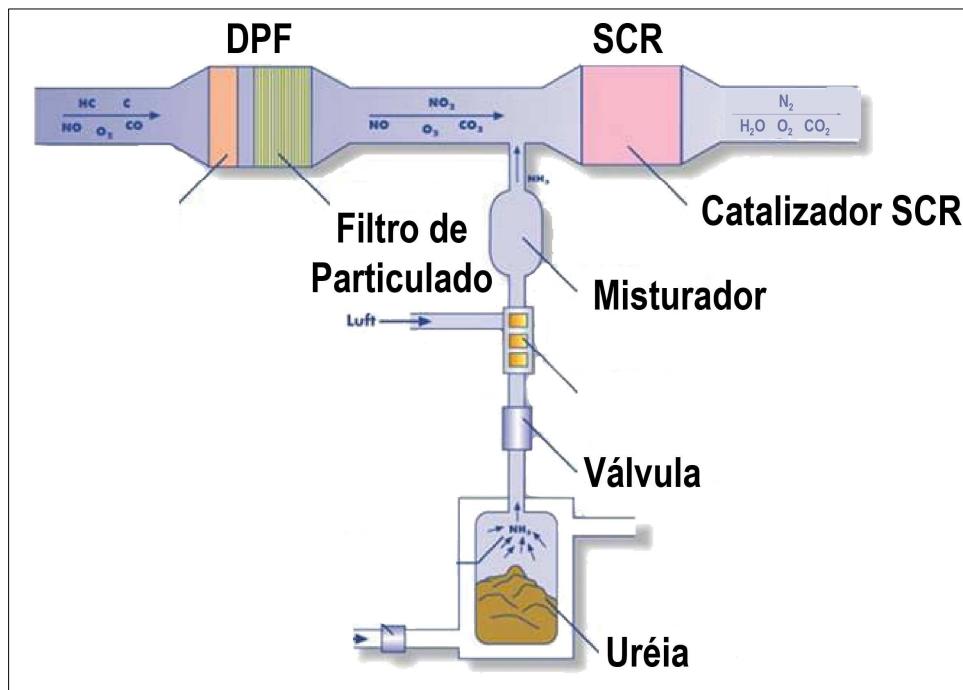
Figura 32: Redução dos níveis de emissão de material particulado e NOx, na Europa.

O Sistema Catalítico Seletivo – SCR é um dispositivo de pós-tratamento dos gases de exaustão desenvolvido para aplicação em veículos pesados movidos a óleo diesel<sup>129</sup>. O sistema visa a redução do NO e do NO<sub>2</sub> através de reações químicas envolvendo amônia e oxigênio<sup>130</sup>. A amônia é injetada através de mistura aquosa de uréia<sup>131</sup>, contida em um reservatório especial, sobre o catalisador com fins à redução dos óxidos de nitrogênio. Para o atendimento de padrão EURO V, o sistema SCR deverá ser precedido por um filtro de particulado (DPF), e em alguns casos existirá um catalisador especial final para eliminação, ou redução, da amônia excedente não utilizada no processo de conversão dos óxidos de nitrogênio. As figuras 33 e 34 ilustram a complexidade do dispositivo.

<sup>129</sup> O sistema SCR foi desenvolvido para reduzir os níveis de emissão de óxidos de nitrogênio. Todavia este não é o único dispositivo de pós-tratamento de gases de motores diesel destinado a este fim. Um outro sistema de absorção de óxidos de nitrogênio é conhecido como NST (NOx Storage Trap). Este último dispositivo não vem sendo priorizado para o uso em veículos diesel, possui grande sensibilidade a elevados teores de enxofre no óleo diesel. O sistema SCR vem sendo cogitado como mais adequado para aplicações em veículos com motores diesel pesados (AVELLA, 2005). O sistema SCR possui boa resistência à elevados teores de enxofre, mesmo em níveis superiores ao S50. Todavia, em situações de utilização de óleo diesel com teor de enxofre superior a 50 ppm de enxofre não é aconselhado o uso de pré-catalisadores de oxidação, uma vez que estes passam a, também, oxidar o SO<sub>2</sub> em SO<sub>3</sub> vindo a formar compostos ácidos que trarão efeitos adversos e irreversíveis sobre o sistema SCR.

<sup>130</sup> As reações acontecem sob temperaturas que podem variar de 180<sup>0</sup> a 380<sup>0</sup> C (VERGANI, 2005).

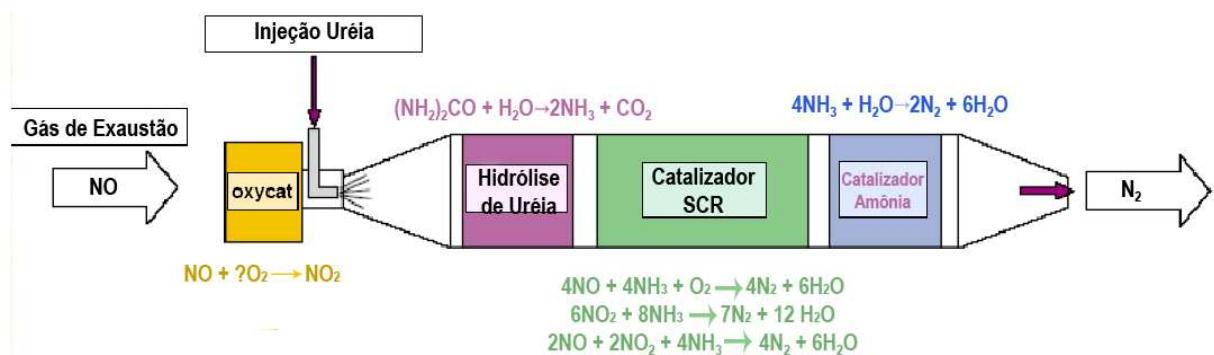
<sup>131</sup> A injeção da mistura aquosa de uréia é controlada eletronicamente por sensores que medem os níveis de emissão de NOx (AVELLA, 2005).



Fonte: (CARCANO, 2004)

Figura 33: O sistema Seletivo Catalítico – SCR

As principais reações de que ocorre dentro do sistema SCR podem ser observadas na figura 34. O sistema SCR é considerado complexo pela existência de três seções catalíticas dentro de um mesmo sistema catalisador<sup>132</sup> (AVELLA, 2005).



Fonte: (AVELLA, 2005)

Figura 34: Sistema Catalisador do SCR (Três níveis)

<sup>132</sup> O efeito do teor de enxofre sobre a eficiência do sistema SCR é relativamente pequeno (moderado), sendo em especial reversível, não gerando prejuízos permanentes sobre o equipamento, desde que não haja pré-catalisador de oxidação nos sistema de pós-tratamento (AVELLA, 2005).

A solução de uréia e água a ser injetada no sistema SCR é conhecida como AdBlue. Trata-se de uma solução aquosa de 1/3 de uréia e 2/3 de água. A solução não apresenta toxicidade nem é considerada explosiva. Sua temperatura de congelamento é menor que a da água (-11,5 °C) (RENAULT, 2006). Segundo dados fornecidos pela Renault (2006), um tanque de AdBlue (convencional de 60 litros) é capaz de operar 6 600 km, atendendo padrões de emissão EURO IV. Todavia, para atendimento a padrões EURO V a autonomia do tanque de AdBlue seria de 4 000 km. O custo estimados para o AdBlue, nos EUA, é de U\$ 0,80 / litro (AFEEVAS,2005). Quando o reservatório de AdBlue no veículos fica vazio, o sistema SCR pára de ser efetivo na redução dos níveis de NO<sub>x</sub>, todavia não há nenhuma consequência direta sobre a operação mecânica do veículo<sup>133</sup>.

O uso do sistema SCR isolado poderá não implicar em perdas do rendimento energético dos veículos diesel. Uma das possibilidades para atendimento aos padrões EURO IV é o uso de um sistema SCR isolado (sem uso de EGR, DOC e DPF). Ao se utilizar um sistema de SCR isolado, o motor poderá ser projetado para emitir pouco Material Particulado (elevando-se assim a emissão de NOx). Quando um motor do ciclo diesel é projetado para emitir pouco Material Particulado este passa a apresentar melhores condições de rendimento energético, o que significará menor consumo de combustível. Sendo assim, de forma excepcional, um veículo diesel EURO IV, acompanhado de um sistema SCR de pós-tratamento dos gases isolado, haverá de apresentar melhores condições de potência e consumo quando comparado aos seus veículos diesel antecessores com padrão EURO III.

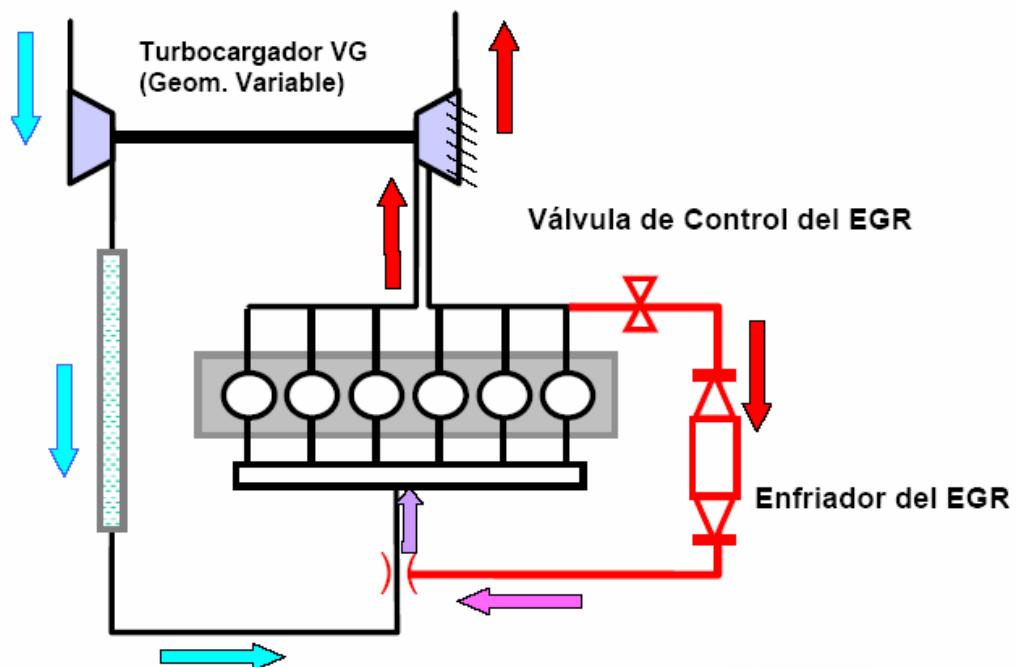
Entretanto, o mesmo não se pode afirmar quando da entrada de veículos diesel para atendimento aos padrões EURO V (EGR, DOC, DPF, SCR). A necessidade de redução dos níveis de NOx será tal que não mais se poderá projetar o motor de forma a se minimizar apenas a emissão de Material Particulado (a redução, em projeto do motor, da redução dos níveis de material particulado está diretamente associada à redução de consumo do motor). A inserção de outros dispositivos como o DOC e o DPF haverão de impor maior resistência à passagem dos gases de exaustão, implicando em maiores perdas de carga e em maiores níveis de consumo. Estudos apontam para uma penalidade no rendimento energético dos veículos diesel padrão EURO V entre 1 e 9% (FAIZ, 1996). Todavia os veículos diesel padrão EURO IV não haverão de apresentar, ainda, este prejuízo relacionado ao consumo de combustível.

---

<sup>133</sup> Desempenho e consumo permanecem inalterados.

### 6.2.5 – O Sistema de Recirculação dos Gases – EGR<sup>134</sup>

O sistema de recirculação dos gases de exaustão vem sendo desenvolvido e proposto para motores do ciclo diesel e do ciclo Otto modernos. O sistema consiste na recirculação de parte dos gases do escapamento, os quais são resfriados e re-injetados novamente na câmara de combustão. O objetivo deste processo é a redução dos níveis de emissão de NOx<sup>135</sup>. O sistema EGR está previsto para ser empregado tanto em ônibus diesel quanto em ônibus a gás natural dedicado. Segue na figura 35 ilustração do sistema EGR.



Fonte: (CUMMINS, 2005B)

Figura 35: Sistema EGR de recirculação de gases resfriados

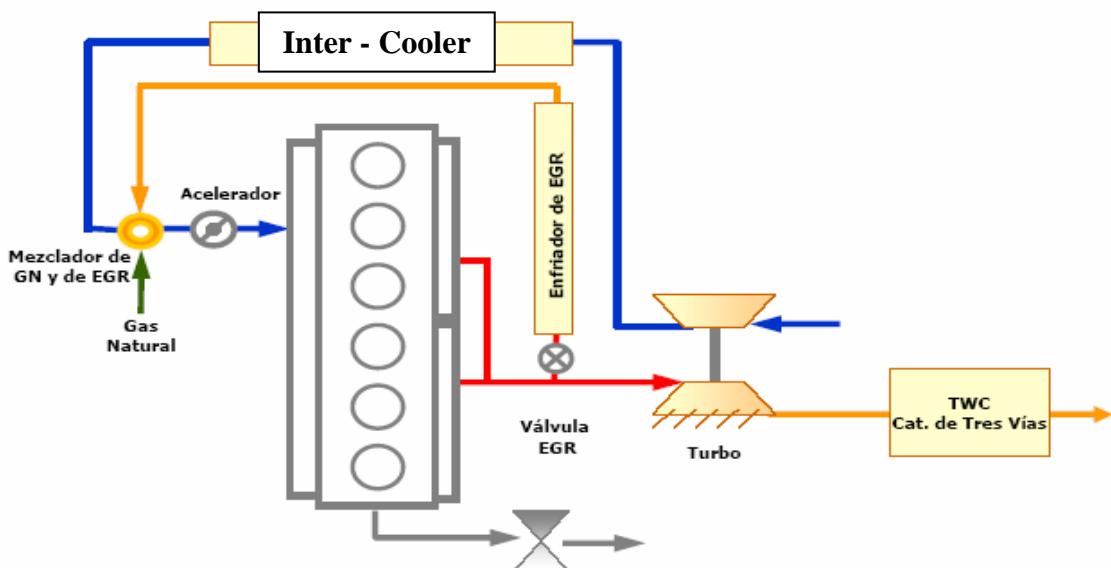
O sistema EGR vem sendo proposto como uma das rotas possíveis para enquadramento dos níveis de emissão de NOx, de motores diesel, aos padrões EURO IV. O sistema EGR poderia garantir atendimento aos níveis de emissão EURO IV desde que associado a um catalisador de oxidação. A desvantagem do uso de um catalisador de oxidação associado a um sistema EGR é que o diesel deverá apresentar baixo teor de enxofre. Outra rota alternativa para atendimento de EURO IV é o uso do sistema SCR que poderá ser usado, inicialmente, sem o uso de um catalisador de oxidação, porém com óleo diesel com maior teor de enxofre (>50 ppm).

<sup>134</sup> Exhaust Gás Recirculation

<sup>135</sup> A inserção de um sistema de EGR pode significar a redução de até 50% dos níveis de NOx, sem elevar as emissões de MP.

#### 6.2.6 – O Sistema de Pós-Tratamento (Ônibus a Gás) Previsto para 2008 na Europa – EURO V.

O ônibus a gás natural dedicado apresenta-se, para o mercado na Europa de 2008, com os seguintes dispositivos de pós-tratamento dos gases, a saber: sistema EGR de recirculação de parte dos gases do escapamento e catalisador de três vias - TWC (oxidação do CO e HC e redução de NO<sub>x</sub>). A menor complexidade dos sistemas de pós-combustão dos gases poluentes, para atendimento aos padrões EURO IV e EURO V, vem contribuir, também, em favor do veículo a gás natural dedicado em comparação com motores do ciclo diesel modernos. A complexidade dos sistemas de pós-tratamento em veículos diesel haverá de se refletir, também nos custos finais de aquisição dos mesmos, diminuindo-se, assim, as diferenças de custo entre veículos a gás natural dedicados e veículos diesel, hoje ainda existentes. A figura 36 ilustra o sistema de pós-combustão dos gases para veículos dedicados ao gás natural, em 2008, na Europa (padrão EURO V).



Fonte: (CUMMINS, 2005B)

Figura 36: Sistema completo de pós-tratamento dos gases – ônibus gás natural (EURO V)

Segundo informações reveladas pela Cummins (2005B), as diferenças entre as tecnologias de pós-tratamento dos gases de veículos diesel modernos e de veículos a gás natural dedicados, para 2008 na Europa, podem observadas na tabela 35. Como pode ser percebido, o nível de complexidade dos sistemas de pós-combustão dos

gases do veículos diesel modernos será bastante elevado, comparado com o dos sistemas de pós-tratamento dos ônibus a gás natural.

Tabela 35: Complexidade dos sistemas de pós-tratamento dos gases para atendimento dos padrões EUROV.

<b>Diesel</b>	<b>Gás Natural</b>
ULSD (Diesel com baixo teor de enxofre)	Sistema de Recirculação dos gases - EGR
Filtro de Particulado - DPF	TWC (Catalizador de Tres Vías)
Sistema de Recirculação dos gases - EGR	
Absorvedor de NOx – NTS ou Sistema SCR (Redutor Catalítico Selectivo)	
Líquido AdBlue para o Sistema SCR	
Óleo lubrificante especial	
Filtros de óleo especiais	

### 6.2.7 – O Sobre-Custo dos Sistemas de Pós-Tratamento dos Gases

A estimativa dos custos associados aos dispositivos de pós-tratamento dos gases dos motores diesel modernos e dos motores dedicados ao gás natural, neste trabalho, visa subsidiar o capítulo final desta dissertação destinado aos cenários de viabilidade econômica do uso de veículos a gás natural em substituição aos veículos a diesel. O último cenário proposto, no último capítulo de viabilidades econômicas, é exatamente aquele que compara a entrada de veículos diesel modernos, com seu complexo e caro sistema de pós-tratamento de gases, com os veículos a gás natural dedicados. A tabela abaixo apresenta os custos estimados dos dispositivos de pós-tratamento de gases no mercado americano. O custo do sistema EGR não será considerado, uma vez que ambos os motores apresentam previsão de utilização deste dispositivo<sup>136</sup>.

Segundo dados apresentados por Jackson (2005) a estimativa de custos dos dispositivos de pós-combustão podem ser analisados na tabela 36.

Tabela 36: Custo dos dispositivos de pós-tratamento dos gases.

Dispositivos	Heavy-Duty (U\$)	Heavy-Duty (R\$) <sup>137</sup>
CR-DPF - Continuously regenerated trap (PM)	2.400,00	5.280,00
SCR - Uréia SCR (NOx)	2.522,00	5.548,00
NST - NOx trap (NOx)	1.430,00	3.146,00
4-way catalyst (CO, HC, PM, NOx)	2.860,00	6.292,00
TWC - 3-way catalyst (CO, HC, NOx)	1.300,00	2.860,00
DOC - Low temp oxidation catalyst (CO, HC)	1.300,00	2.860,00

Fonte: (JACKSON, 2005)

Com base nos dados apresentados na tabela acima podemos estimar o sobre-custo dos dispositivos de pós-tratamento dos gases de veículos diesel modernos (EGR, DOC, DPF, SCR) em relação a veículos movidos a gás natural Dedicados (EGR, TWC), ambos previstos para atendimento de padrões EURO V, os quais haverão de vigorar na Europa a partir 2008. Sendo assim, a estimativa de sobre-custo dos motores diesel modernos, quanto a sistemas de pós-tratamento dos gases, é de

<sup>136</sup> O objetivo deste tópico 6.2.7, deste capítulo, é calcular o sobre-custo dos sistemas de pós-tratamento dos gases dos veículos do ciclo diesel modernos, comparando-os com o dos veículos dedicados ao gás natural.

<sup>137</sup> U\$ 1,00 = R\$ 2,20

R\$ 11.000,00. Este valor será utilizado no último cenário de viabilidade econômica dos ônibus a gás natural Dedicados em relação a veículos diesel modernos.

O custo do líquido AdBlue será considerado, também, no capítulo final de viabilidade econômica<sup>138</sup>. Nossa estimativa de custos será baseada nos dados fornecidos pela Renault (2006) sobre o consumo de AdBlue para atendimento a padrões de emissão EURO V, a saber: um tanque de 60 litros para uma autonomia de 4 000 km. Isso significará que um litro de AdBlue poderá operar 67 km, mantendo os padrões de emissão EURO V, através do sistema SCR. Segundo a Anfeevas (2005), o custo do AdBlue no mercado americano é de U\$ 0,80 / litro, o equivalente no Brasil a R\$ 1,76 / litro. Sendo assim, o custo por quilômetro rodado será de R\$ 0,026.

---

<sup>138</sup> Para informações sobre o AdBlue vide item 6.2.4.

## CAPÍTULO 7 – SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE GÁS NATURAL

As tecnologias necessárias ao atendimento das condições de transporte, compressão e abastecimento do gás natural veicular evoluíram bastante nos últimos anos. O mercado desenvolveu-se espontaneamente no Brasil devido ao grande crescimento do uso de gás natural em veículos leves. Situações anteriormente limitadoras encontram-se hoje solucionadas<sup>139</sup>.

Já existem empresas capacitadas a prover soluções de compressão e abastecimento de ônibus urbanos com gás natural comprimido. Pode-se dizer que a viabilidade do uso de gás natural veicular no transporte coletivo urbano está hoje mais atrelada à disponibilidade do energético nos grandes centros, do que à tecnologia necessária ao abastecimento dos veículos.

O gás natural pode ser estocado na forma gasosa como gás natural comprimido (GNC) ou no estado líquido como gás natural liquefeito (GNL). Os EUA é um dos poucos países que já iniciou o desenvolvimento dos mercados para usar tanto o GNC quanto o GNL (RIBEIRO, 2001A).

A pressão de estoque do gás nos tanques de GNC está na faixa de 200 a 250 bar e o sistema de armazenamento de combustível chega a ter um volume cinco vezes maior do que o dos veículos movidos a combustíveis líquidos (WATT, 2001). O tanque de GNC, mesmo com sua alta pressão de armazenagem, pesa de duas a três vezes mais que tanques de veículos diesel. Já nos ônibus que utilizam o GNL, o gás natural é estocado na forma líquida a uma temperatura em torno de -160°C. Este sistema de armazenamento de combustível tem um volume cerca de duas vezes maior que o do ônibus a diesel (WATT, 2001). No entanto, o tanque de GNL com a mesma capacidade de energia que o tanque a diesel pesa somente 40 % mais (OCDE, 1999).

---

<sup>139</sup> Situações anteriormente limitadoras incluem: qualidade do gás natural fornecido às empresas operadoras; pressão da linha de alimentação (gasodutos-distribuidora); tempo de abastecimento dos ônibus; disponibilidade de gás natural; disponibilidade de rede de gasodutos suficiente para atender às empresas operadoras (RIBEIRO, 2001B).

A vantagem do GNL em relação ao GNC é que o primeiro contém mais energia por unidade de volume que o GNC. Porém, devido a dificuldades de manuseio de GNL a baixas temperaturas, seu uso é restrito e envolve treinamento e procedimentos especiais (CANNON e SUN, 2000).

A outra maneira possível de se estocar gás natural é a estocagem do gás natural adsorvido (GNA), que se encontra ainda em fase de pesquisa e desenvolvimento. Com o GNA as moléculas de metano são adsorvidas em moléculas de carbono numa estrutura porosa, montada dentro do tanque de combustível, a qual ocupa 12% do volume disponível do mesmo (RIBEIRO, 2001A). A pressão usada nos experimentos está em torno de 35 bar. A essa baixa pressão, a massa de combustível e do tanque fica entre a do GNC e a dos convencionais gasolina/diesel (RIBEIRO, 2001B).

O tanque GNA é relativamente mais barato e seguro e poderia ainda ser abastecido em residência por causa da baixa pressão do tanque. Os problemas com este tipo de estocagem são o longo tempo de abastecimento, a produção de calor durante esta fase e a deterioração da superfície de carbono após sucessivas ligações com o metano, o que reduz a capacidade de absorção do meio (OCDE/IEA, 1999). A realidade brasileira não passa, ainda, pelo uso do GNL e do GNA. Já o GNC tem se viabilizado de forma econômica para o desenvolvimento do uso de gás natural no setor de transporte público de passageiros. Na simulação de viabilidade econômica aplicada nesta dissertação, serão empregados os sistemas de GNC disponíveis no mercado brasileiro para a avaliação do uso do gás natural em comparação ao uso do óleo diesel em ônibus.

Em termos de tecnologia veicular, o ônibus movido a GNC é exatamente o mesmo que o a GNL. O ônibus a GNL apresenta alguns poucos acessórios adicionais, necessários ao processo de regaseificação - a combustão ocorre com o combustível no estado gasoso. As diferenças significativas entre essas tecnologias ocorrem no processo de abastecimento. Os itens a seguir detalham as características dos sistemas de abastecimento e tecnologia veicular disponíveis hoje no mercado (NTU, 2004).

## 7.1 – Sistemas de Abastecimento

### 7.1.1 – Gás comprimido

O gás natural é fornecido por uma empresa distribuidora de gás que geralmente tem uma concessão exclusiva para operar em uma determinada região ou cidade, utilizando uma rede de gasodutos vicinais conectados aos postos de abastecimento dos veículos. Os postos de abastecimentos podem operar a baixa pressão, o chamado abastecimento lento, ou operar com gás armazenado a alta pressão. Em função do alto tempo de abastecimento dos ônibus no primeiro caso - superior a 30 minutos – grande parte das experiências de utilização do gás natural no transporte público, preferencialmente, utilizam-se da tecnologia de abastecimento rápido (NTU, 2004).

No abastecimento rápido, o gás recebido a baixa pressão da companhia distribuidora (de 2 a 4 bar em geral, mas existem modernos compressores que atualmente podem captar gás natural a pressões inferiores) é comprimido a cerca de 250 bar por um sistema de compressores e armazenado em tanques de alta compressão, chamados de pulmões. O abastecimento é feito por dispensers conectados a esses pulmões, que à medida que vão fornecendo gás perdem pressão. Quando a pressão cai a um determinado nível, automaticamente o dispenser passa a utilizar outro tanque e o compressor volta a fornecer gás comprimido ao tanque que perdeu pressão, e assim sucessivamente, de forma que o abastecimento é realizado sempre em alta pressão, minimizando o tempo em que o veículo fica parado. A figura 45 ilustra alguns destes esses procedimentos (NTU, 2004).

Considerando a tecnologia de alta pressão, o tempo de abastecimento por veículo pode variar de 3 a 8 minutos dependendo da relação entre a quantidade de compressores, volume do pulmão e o número de veículos abastecendo simultaneamente (NTU, 2004).



Fonte: (SPTRANS, 2002)

Figura 37: Seqüência de fotos; mostrando o esquema de funcionamento de uma estação de abastecimento rápido de gás comprimido:  
 1) Recebimento e medição do gás; 2) Filtragem; 3) Compressão;  
 4) Armazenamento nos pulmões;  
 5 e 6) Abastecimento do veículo;

Para se chegar ao consumidor final, a tecnologia do gás comprimido passa pelas etapas de produção, que é a extração do gás do subsolo; transporte pela rede troncal de gasodutos de alta pressão; distribuição pela rede vicinal de gás; e finalmente a etapa de compressão e uso final. O custo correspondente de cada etapa é agregado ao preço, de forma que o preço final, com impostos, do gás comprimido é calculado pela seguinte fórmula:

PFGNC = CPT + CD + CC + T + MT, onde:

PFGNC = Preço final do gás comprimido;

CPT = Custo de produção e transmissão (rede troncal);

CD = Custo da distribuição do gás;

CC = Custo da compressão do gás

TT = Tributação total (soma dos tributos; da produção à compressão)

MT = Margem de todos os agentes envolvidos na cadeia (da produção à compressão)

Pode-se dizer que cada etapa está sob responsabilidade de empresas diferentes. Geralmente as grandes companhias de petróleo são responsáveis pela produção e transmissão. A distribuição é feita pelas companhias de gás regionais, que utilizam para isso a sua malha distribuição de gasodutos. O serviço de compressão pode ser feito por empresas terceirizadas (normalmente distribuidoras de combustíveis ou a própria empresa estadual de distribuição), instalando os seus equipamentos nas garagens e cobrando por isso um percentual sobre o volume vendido (NTU, 2004).

Outra alternativa seria a própria empresa de transporte (ônibus) fazer os investimentos necessários e se responsabilizar pela aquisição da infra-estrutura de compressão do gás. Porém, é possível que a terceirização do serviço de compressão possa se tornar interessante para a distribuição dos riscos associados ao processo de substituição do diesel pelo gás natural. O custo da compressão do gás poderia ser, assim, incluído no custo final do energético oferecido às empresas transportadoras, de maneira que estas possam assumir apenas o risco tecnológico da aquisição das novas tecnologias veiculares, os riscos de mercado quanto à garantia do fornecimento de gás natural e o risco do custo final do gás em relação ao diesel.

No Brasil, a unidade de medida do consumo de gás é o metro cúbico ( $m^3$ ), pressupondo-se que a quantidade energética de um metro cúbico de gás seja constante, principalmente após a regulamentação da especificação do gás metano veicular (ANP – Resoluções 42/1998 e 104/2002). Os Estados Unidos não utilizam mais a forma de medida volumétrica justamente por não se garantir um valor constante do teor energético (variação em função da concentração dos gases que compõem o gás natural, principalmente o elemento metano). Atualmente, a unidade de consumo e venda de gás nos EUA é o therm<sup>140</sup>, que é uma unidade energética, não volumétrica (MATTOS, 2001).

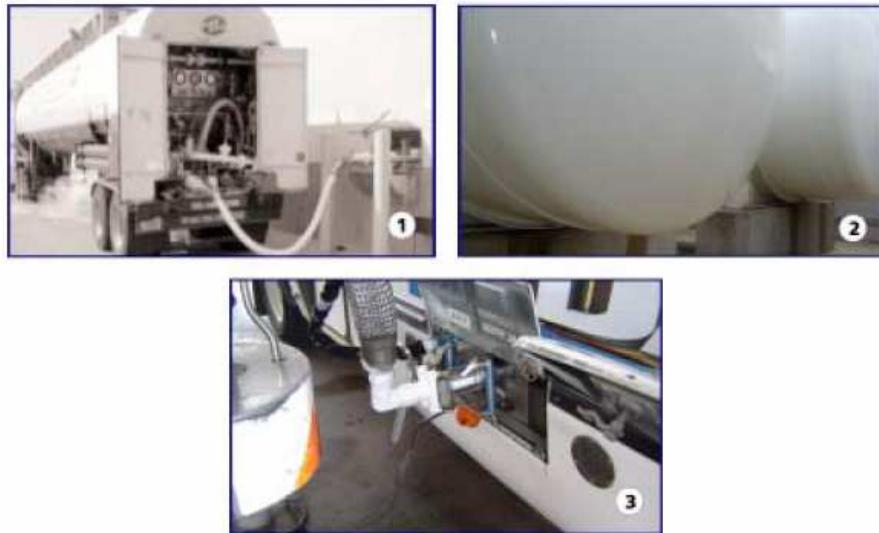
---

<sup>140</sup> Unidade de energia: 1 therm = 105,5 MJ

### 7.1.2 – Gás liquefeito

O processo de liquefação do gás natural se dá a uma temperatura de aproximadamente  $-160^{\circ}\text{C}$  (MATTOS, 2001). Apesar de ser relativamente comum no exterior, no Brasil ainda são raras as usinas de criogenia, o que vem impossibilitar, no curto prazo, a adoção dessa tecnologia no mercado veicular (NTU, 2004; MATTOS, 2001).

Pode-se dizer que a logística de abastecimento do gás liquefeito é idêntica à utilizada no caso do diesel, consistindo no recebimento do combustível por caminhões tanques providos de sistema de refrigeração, armazenamento na empresa em tanques especiais (sem refrigeração) e utilização de bombas de abastecimento. A vantagem em relação ao gás comprimido está na não existência dos complexos sistemas de compressão. A figura 46 ilustra o processo de abastecimento de gás liquefeito (NTU, 2004).



Fonte: (NTU, 2004)

Figura 38: Abastecimento de gás liquefeito em Dallas (EUA): 1)Recebimento em caminhões;  
2) Armazenamento em tanques criogênicos; 3) Abastecimento dos veículos, também em tanques criogênicos.

Em função da etapa de resfriamento do gás, o custo final do gás liquefeito geralmente é maior do que o custo do gás comprimido, dependendo do custo de capital necessário para se implementar a malha de distribuição de gasodutos. Nesse caso, quando o custo de se construir uma rede de distribuição de gás for muito elevado, o gás liquefeito poderia se tornar uma alternativa muito interessante. Os custos envolvendo a operação com ônibus a gás natural com GNL não serão empregados na avaliação de viabilidade econômica desta dissertação.

## **7.2 – Sistemas alternativos**

### **7.2.1 – Abastecimento coletivo**

Os custos para se estabelecer uma ampla rede de distribuição de gás natural com diversos pontos de abastecimento podem ser elevados, o que poderia ser justificado pela existência de uma demanda firme de consumo de gás natural veicular. Para contornar esse problema, cidades como Pequim passaram a adotar sistemas de abastecimento coletivos (NTU, 2004). Estes sistemas de abastecimento são de abastecimento rápido (já existe tecnologia de abastecimento de GNC inclusive no Brasil capaz de abastecer 150 m<sup>3</sup> em 3 minutos) e ficam localizados em pontos estratégicos do sistema de transporte, de forma a atender e otimizar a necessidade logística de um consórcio específico de empresas transportadoras (NTU, 2004).

O gerenciamento administrativo do abastecimento de mais de uma empresa de ônibus em um único ponto já possui soluções de fácil operação. A PETROBRAS já tem experiência em operação de postos de abastecimento coletivos no sistema de transporte de cargas e tem estudos para adoção de modelos semelhantes para os ônibus urbanos, o que poderia se mostrar viável para cidades com rede de distribuição de gás limitada (NTU, 2004). Como o processo de abastecimento é todo automatizado, com chips de identificação instalados nos veículos, não haveria problemas caso mais de uma empresa queira abastecer suas frotas nestes postos coletivos. Os veículos também podem abastecer em qualquer ponto de abastecimento da cidade, já que os dados são armazenados em um servidor central e depois enviados para a empresa em forma de ordem de pagamento e indicadores de consumo, abastecimento e desempenho operacional (NTU, 2004).

Vale mencionar as dificuldades já encontradas em postos de abastecimento coletivo de gás natural veiculas na cidade de São Paulo<sup>141</sup> (SANTOS, 2003). Porém, com o desenvolvimento da tecnologia de abastecimento, principalmente em relação ao tempo de abastecimento, pode-se dizer que esta, talvez, venha ser uma alternativa interessante para a redução dos custos associados à compressão do gás natural. Um dos maiores custos associados ao abastecimento dentro de apenas uma garagem é quanto à ociosidade dos equipamentos. Como os veículos precisam ser abastecidos rapidamente logo após chegarem de sua operação normal, ficam as unidades de compressão superdimensionadas, e ociosas, durante a maior parte do dia, quando os veículos estão fora das garagens em operação.

Há algumas vantagens de se projetar postos de abastecimentos coletivos localizados em pontos estratégicos das cidades. As empresas ficariam desoneradas dos investimentos em um sistema novo de abastecimento, enquanto as distribuidoras de gás poderiam viabilizar toda a oferta necessária, minimizando os custos de expansão da rede de gasodutos local, além de poderem obter ganhos de escala na venda de gás pela concentração da demanda em pontos específicos de abastecimento (NTU, 2004).

Nesse caso, deve-se planejar o sistema considerando patamares mínimos de desempenho operacional como tempo de espera, tempo de abastecimento, área de armazenamento de veículos compatível com a frota em operação na área de atendimento.

### **7.2.2 – ABASTECIMENTO VIRTUAL**

Um sistema alternativo é aquele relacionado à forma de transporte do GNC até a localidade do uso final. Podem-se utilizar sistemas “virtuais” de transporte de gás natural, onde carretas tanques são posicionadas em pontos de convergência do sistema, nos locais sem conexão com a rede de distribuição. Dessa forma, os ônibus abastecem próximos dos locais da operação, ou em suas próprias garagens, dentro de uma programação previamente definida, minimizando os tempos de espera nos pontos de abastecimento. Nesse sistema, pode ser usado um esquema de abastecimento direto da carreta para o ônibus, ou armazenamento intermediário em pulmões fixos,

---

<sup>141</sup> A saber: filas para abastecimento; longo período para abastecimento (abastecimento lento); falta de planejamento integrado para o abastecimento de frotas pertencentes a empresas distintas.

conforme mostram as figuras abaixo. Algumas das tecnologias mais utilizadas neste sistema de abastecimento alternativo são apresentadas nas figuras 47, 48 e 49 (SAUER, 2003).

## Tecnologia FIBA (USA)



Fonte: (SAUER, 2003)

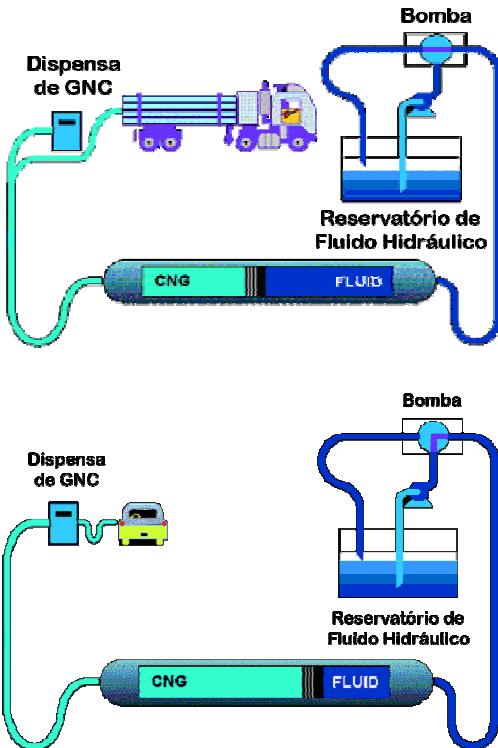
Figura 39: Tecnologia de transporte de gás natural comprimido – caminhão feixe.

Este sistema alternativo utiliza o sistema cascata tradicional para controlar o abastecimento de veículos. Um compressor é utilizado para re-comprimir o gás que é mantido dentro dos cilindros. O sistema cascata gerencia o rodízio de abastecimento de forma a otimizar o aproveitamento de volume entre os cilindros. Assim, o abastecimento se inicia a partir do cilindro de menor pressão, passando para os de mais alta pressão, de acordo com um limite pré-estabelecido pelo sistema de controle (SAUER, 2003)

Como exemplo a FIBA sugeriu o seguinte modelo:

- Super-Jumbo trailer de 10 tubos;
- Pressão média de armazenamento: 165 bar;
- Capacidade máxima por carreta: 5.000 m<sup>3</sup>;
- Capacidade útil de entrega: 4.000 m<sup>3</sup> ( 80%);
- Flexibilidade para transporte ferroviário e rodoviário;
- Tempo de abastecimento para capacidade máxima: 5 horas.

## Tecnologia NEOGAS



Fonte: (SAUER, 2003)

Figura 40: Tecnologia de transporte de gás natural comprimido – caminhão feixe, tecnologia NEOGAS.

Como exemplo a NEOGAS sugeriu o seguinte modelo (SAUER, 2003):

- Capacidade máxima por carreta: 4.080 m<sup>3</sup>;
- Capacidade útil de entrega: 3.800 m<sup>3</sup> ( 90 a 95% );
- HPU (Unidade de Força Hidráulica);
- Vazão mínima: 800 m<sup>3</sup>/h;
- Consumo de energia: 0,04 kWh/m<sup>3</sup>;
- Flexibilidade para transporte ferroviário e rodoviário;
- Pressão de armazenamento: 250 bar;
- Buffer (pulmão): 750 m<sup>3</sup>, não vendáveis, utilizados para permitir a continuidade no fornecimento durante a troca entre carretas de abastecimento;
- Tempo de abastecimento para capacidade máxima: 5 horas.

## Tecnologia GALILEO (Argentina)



Fonte: (SAUER, 2003)

Figura 41: Tecnologia de transporte de gás natural comprimido, tecnologia GALILEO.

Como exemplo a GALILEO sugeriu o seguinte modelo (SAUER, 2003):

- Capacidade útil de entrega:  $4.700 \text{ m}^3$  ( 90 a 95% );
- Flexibilidade para transporte ferroviário e rodoviário;
- Pressão de armazenamento: 250 bar
- Não utiliza Buffer (Pulmão);
- Tempo de abastecimento p/ capacidade máxima: 5 horas.

### 7.3 – SISTEMAS DE ABASTECIMENTO NO VEÍCULO

Os veículos movidos a gás natural necessitam, obrigatoriamente, de novos sistemas de abastecimento e armazenamento interno de gás. Deve-se, portanto, estimar o quanto esses sistemas representarão em termos de espaço ocupado e carga extra para os veículos. Basicamente, a questão do espaço e do peso extra está relacionada diretamente com os cilindros de armazenamento. Todavia, estes não são os únicos itens deste sistema de abastecimento, o que pode aumentar ainda mais a complexidade dos veículos movidos a gás natural. Usualmente no Brasil predomina o uso de cilindros pesados (aço). A empresa Mercedes Bens do Brasil disponibiliza, desde a década de 80, seus veículos movidos a gás natural com cilindros pesados de fábrica. A utilização de cilindros leves em coletivos urbanos é uma tendência nos países industrializados, sendo que no Brasil ainda são poucas as empresas que os disponibilizam comercialmente.

Os Principais itens do sistema de armazenamento e abastecimento nos veículos são:

- Suporte de Cilindro;
- Cilindros;
- Tubulações;
- Conexões;
- Válvula de abastecimento;
- Filtro;
- Eletro-válvula;
- Válvula reguladora.



Figura 42: Suporte e fixação dos cilindros de armazenamento – cilindros de aço fixados diretamente no chassis do veículo.

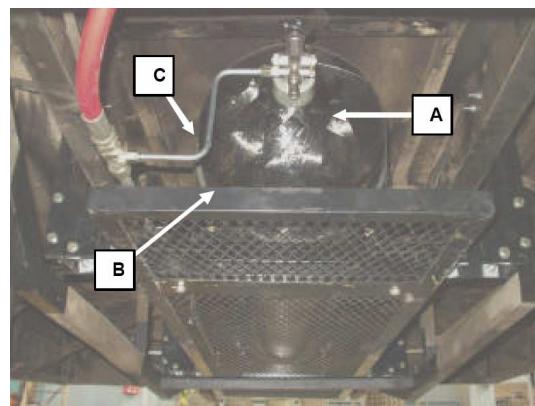


Figura 43: A-) cilindro leve de fibras de carbono; B-) tubulação do sistema de alta pressão  
C-) suporte dos cilindros de armazenamento – fixação no chassis do veículo.

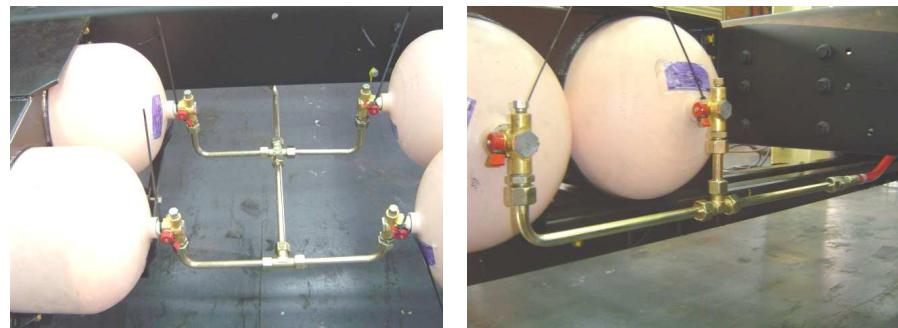


Figura 44: Tubulações e conexões do sistema de alta pressão.



3.

Figura 45: Sistemas e válvulas de abastecimento.

### 7.3.1 – CILINDROS DE ARMAZENAMENTO

Os cilindros para armazenamento de gás natural em veículos são, também, um importante fator técnico a ser analisado nos estudos de viabilidade. As relações entre volume armazenado e peso dos cilindros serão igualmente impactantes nos aspectos rendimento, consumo, desempenho e autonomia dos veículos. De forma simplificada, os cilindros os cilindros serão classificados em: cilindros pesados e cilindros leves<sup>142</sup>.

#### 7.3.1.1 - CILINDROS PESADOS

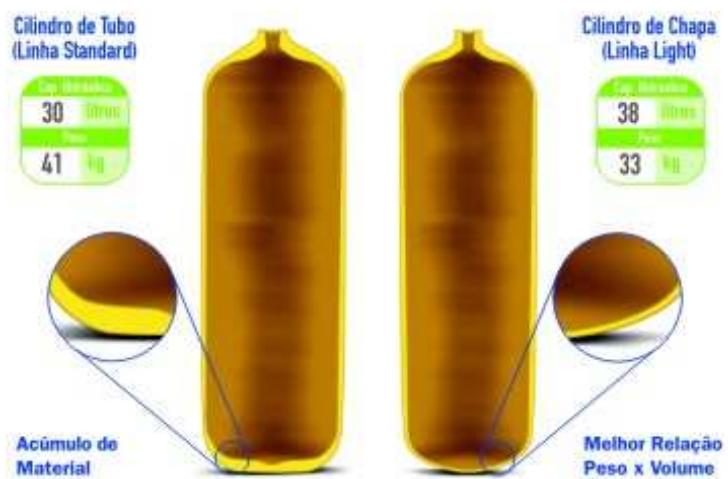
Os cilindros pesados são aqueles comumente comercializados no mercado brasileiro devido, principalmente, ao seu menor custo e menor nível tecnológico envolvido no processo de fabricação. Os cilindros pesados são fabricados em aço, podendo estes ser fabricados por processos mecânicos distintos. O primeiro processo parte de tubos de aço sem costura (aço cromo/molibdênio)<sup>143</sup>, os quais são normalmente adquiridos pela fabricação nacional da MANNESMAN.

Um segundo processo de fabricação de cilindros de aço foi desenvolvido pela italiana FABER. Partindo de chapas de aço, as quais são conformadas através de processo mecânico de estampagem profunda. Este processo produz cilindros de aço mais leves. A empresa de cilindros CILBRAS já possui linha de produção destes cilindros no mercado nacional. A redução média de peso é estimada, pelo fabricante, em 25% quando comparada aos cilindros de aço produzidos pelo processo convencional a partir de tubos. A figura 41 ilustra um pouco as diferenças entre os dois produtos oferecidos pela empresa brasileira (WHITE MARTINS, 2006).

---

<sup>142</sup> A classificação mais completa divide os cilindros em classes: TIPO I, TIPO II, TIPO III E TIPO IV.

<sup>143</sup> Os tubos sem costura são aqueles tubos processados através de processos de conformação mecânica à quente desenvolvido pela empresa MANNESMAN. A partir de barras cilíndricas maciças tubos de camadas variáveis são fabricados sem a necessidade de solda ou qualquer outro processo de fechamento dos mesmos. As características físicas e mecânicas do tubo se mantêm homogêneas em toda a superfície do mesmo.



Fonte: (WHITE MARTINS, 2006)

Figura 46: Cilindros de aço – produção a partir de tubos sem costura e chapas.

### 7.3.1.2 - CILINDROS LEVES

Os cilindros leves são aqueles produzidos a partir de um invólucro impermeabilizante – “Liner”, o qual é revestido por fibras que garantem a resistência mecânica necessária ao armazenamento sob pressão do gás natural. A parede impermeabilizante tem a função de reter (impedir a passagem) do gás natural, podendo esta ser de material metálico leve – alumínio, resina, ou material plástico adequado. Já existem cilindros leves totalmente constituídos por fibras adicionadas de resina, não existindo nesses cilindros a diferenciação de camada impermeabilizante e camada de fibras. Estes últimos cilindros são considerados os mais leves e disponíveis para o mercado atualmente (SPTRANS, 2005).

Algumas empresas estrangeiras fabricam e comercializam estes cilindros no mercado internacional, porém, no Brasil, apenas uma poderia já iniciar a produção destes cilindros em escala comercial. Abaixo mostramos dois tipos de cilindros leves. Um deles em fibra de carbono e camada impermeabilizante de alumínio, e o outro em fibra de Kvelar e com camada interna impermeabilizante de plástico.

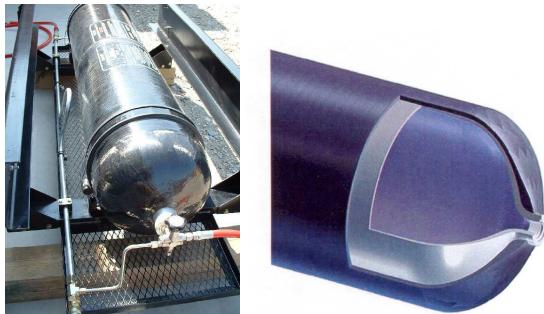


Figura 47: Cilindros leves em fibra de carbono com liner de alumínio.



Figura 48: Cilindros leves em fibra de Kveler sendo bobinados sobre liner de plástico.

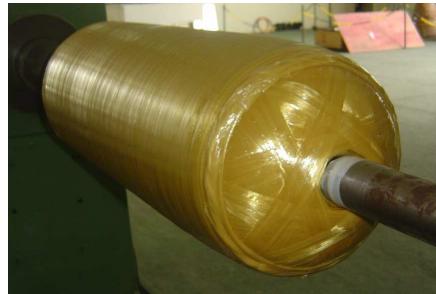


Figura 49: Cilindros leves em fibra de Kveler após processo final de fabricação.

A relação entre peso, capacidade e preço dos diferentes tipos de cilindros de armazenamento de gás natural disponíveis no mercado pode ser uma variável bastante importante para a viabilidade do uso do gás natural em coletivos urbanos. Uma tabela comparativa, simplificada, pode ser observada abaixo para a relação peso/capacidade dos cilindros.

Tabela 37: Relação de capacidade volumétrica e peso entre cilindros leves e pesados para armazenamento de gás natural veicular.

CILINDRO/TIPO	CAPACIDADE	CAPACIDADE	PESO
AÇO (Tubo)	30,00	7,77 <sup>144</sup>	41,00 <sup>145</sup>
AÇO (Chapa)	38,00	9,84	33,00
FIBRA CARBONO <sup>146</sup>	176,00 <sup>147</sup>	45,60	59,00

Fonte: (PETROBRAS, 2005A; WHITE MARTINS, 2006)

Como pode-se observar na tabela 37, há uma redução bastante significativa, em termos comparativos, entre os cilindros de aço, considerados pesados, e os cilindros considerados leves. Os cilindros leves são, ainda, consideravelmente mais caros podendo chegar a ter um custo entre 100% e 200% superior aos cilindros pesados de aço convencionais<sup>148</sup> (ORLANDO, 1998).

<sup>144</sup> A capacidade ( $m^3$ ) refere-se ao volume, nas condições padrões de 20 °C e 101,325 kPa (1 atm), ocupado pela massa de Gás Natural armazenada no cilindro a 200 bar. O fator de correlação entre o volume ocupado pelo gás natural em pressões da ordem de 197 atm, a 20 °C, é: 0,25967  $m^3$ /litro (ORLANDO, 1998).

<sup>145</sup> Podemos perceber que a relação entre o peso do cilindro e a capacidade volumétrica é bastante favorável ao cilindro leve de fibra de carbono ( $59kg/45,6m^3 = 1,29kg/m^3$ ). Os cilindros de aço feitos de tubo e chapa apresentam a relação de  $5,28kg/m^3$  e  $3,35kg/m^3$ , respectivamente. O cilindro de aço fabricado a partir de chapas é 36% mais leve do que o cilindro de aço fabricado a partir de tubos. Comparando o cilindro de fibra de carbono podemos ver que este é cerca de 76% mais leve que os cilindros de aço feitos a partir de tubos.

<sup>146</sup> Cilindro TIPO III em fibra de carbono com liner metálico. Esses cilindros foram utilizados pela PETROBRAS nos teste com o ônibus a gás de Porto Alegre (ônibus Ottolizado).

<sup>147</sup> Pode-se observar que as dimensões dos cilindros não são as mesmas, sendo o cilindro de fibra de carbono quase duas vezes maior que os demais, do ponto de vista de capacidade volumétrica. Todavia, podemos ainda assim extrair a relação entre peso e volume para os diferentes tipos de cilindro apresentados.

<sup>148</sup> Em relatório apresentado pela PETROBRAS sobre o ônibus convertido com o processo de Ottolisação em Porto Alegre os cilindros leves utilizados tiveram seus custos estimados em U\$ 4.000,00 dólares. Como foram utilizados 5 cilindros totalizando uma capacidade volumétrica de 880 litros, podemos considerar o custo por unidade de volume como sendo U\$4000,00/880 litros = U\$4,55/litro. Acrescendo 100% sobre o valor anterior para cobrir custos de importação e tributos teríamos U\$9,10/litro, o que seria equivalente a R\$ 20,02/litro (U\$1,00=R\$2,20). O custo de um cilindro pesado (produzido a partir de tubos) é estimado em R\$ 1700,00 (com capacidade de 120 litros). Sendo assim, o custo por unidade de volume estaria estimado em R\$ 1000,00/90litros = R\$ 11,11/litro. Nossa cálculo demonstra que os cilindros leves (fibra de carbono-TIPO III) apresentam melhor competitividade econômica do que aquela apresentada por Orlando (1998). Conforme os cálculos apresentados acima o custo dos cilindros leves (fibra de carbono-TIPO III) seria apenas 80,20% superiores aos custos com cilindros pesados.

## 7.4 – Custos associados à infra-estrutura de abastecimento e compressão

Para simplificação das avaliações nos cenário de viabilidade econômica serão identificados os custos relacionados à implantação de uma infra-estrutura completa de abastecimento de gás natural dentro de uma garagem de ônibus<sup>149</sup>. Haverá distinção entre abastecimento rápido e abastecimento lento. Também será estimado o custo do serviço de compressão, o qual pode ser realizado por empresas terceirizadas.

Uma estação de abastecimento interna de gás natural em uma garagem de ônibus deverá constar de alguns equipamentos básicos para sua instalação. Uma estimativa de custos para cada um destes equipamentos pode ser observada abaixo:

Tabela 38: Estação de compressão - 1000 m<sup>3</sup> / hora.

<b>Equipamentos</b>	
1 Compressor	R\$ 500.000,00
1 Compressor Reserva	R\$ 500.000,00
Painel Elétrico	R\$ 60.000,00
Estocagem	R\$ 50.000,00
Montagem Eletromecânica	R\$ 100.000,00
Dispensers	R\$ 100.000,00
<b>Total do Conjunto</b>	<b>R\$ 1.310.000,00</b>
Obra Civil	R\$ 250.000,00
Subestação: 225 KVA p/ Conjunto	R\$ 30.000,00
<b>TOTAL</b>	<b>R\$ 1.590.000,00</b>

Fonte: (PETROBRAS, 2005B)

Os dados apresentados por Iacarino (2005) não remetem ao tipo de abastecimento dos veículos (abastecimento rápido ou lento). Todavia, os dados apresentados pela tabela 38 fornecem uma primeira estimativa dos custos de uma unidade de compressão de gás natural “pequena” (apenas um compressor). É importante ressaltar que, devido à importância do serviço prestado pelos transportadores de passageiros nos grandes centros, não se poderá projetar uma

<sup>149</sup> Não serão utilizados custos para infra-estrutura de GNL e GNC (gasodutos virtuais). Ambos poderão ser utilizados, também, no mercado brasileiro para abastecimento de frotas do transporte urbano de passageiros. Já existe a proposta para a utilização de GNL em ônibus urbanos, manifestada pela PETROBRAS (BRASIL E ENERGIA, 2006). Três ônibus experimentais deverão entrar em operação na cidade de Goiânia usando GNL, até o final de 2006. Há apenas uma planta de médio porte produzindo GNL no Brasil, em agosto de 2006. A planta pertence às empresas WHITE MARTINS e PETROBRAS e localiza-se dentro da refinaria da PETROBRAS, no município de Paulínia.

planta de infraestrutura de compressão sem a inclusão de um compressor reserva extra. Este compressor reserva deverá entrar em operação sempre nos períodos de manutenção e falha do primeiro equipamento, de maneira que os veículos da frota operante não sofram atrasos ou problemas de abastecimento de combustível.

Outra forma de se estimarem os custos associados à infra-estrutura de abastecimento de gás natural em empresas de ônibus é através da diferenciação dos modos de abastecimento rápido e lento. A estimativa abaixo traz essa separação em termos econômicos.

Tabela 39: Estação de compressão – Abastecimento lento (6 horas)<sup>150</sup> - frota de 70 veículos.

<b>Equipamentos</b>	
2 Compressores + Estocagem	R\$ 900.000,00
1 Compressor Reserva	R\$ 450.000,00
Montagem Eletromecânica <sup>151</sup>	R\$ 200.000,00
Dispensers	R\$ 80.000,00
Total do Conjunto	R\$ 1.630.000,00
Obra Civil	R\$ 150.000,00
Subestação: 225 KVA p/ Conjunto	R\$ 50.000,00
<b>TOTAL</b>	<b>R\$ 1.830.000,00</b>

Fonte: (JUNQUEIRA, 2006)

<sup>150</sup> O abastecimento lento acontece no período noturno, quando a frota operante encontra-se recolhida na garagem. Uma das possibilidades de abastecimento de gás natural consiste em efetuar a compressão do gás natural dentro dos cilindros de armazenamento do veículo durante um período contínuo de 6 horas. Este tipo de abastecimento exige uma capacidade menor de sistemas de armazenamento (pulmões) para os compressores, bem como um projeto menos superdimensionado de compressores para uma garagem de ônibus. O abastecimento rápido de uma frota de ônibus muito grande a gás natural poderia exigir uma unidade de compressão e abastecimento bastante superdimensionada, o que significaria equipamento ocioso durante o dia (momento do dia em que a frota encontra-se em operação de transporte nas ruas).

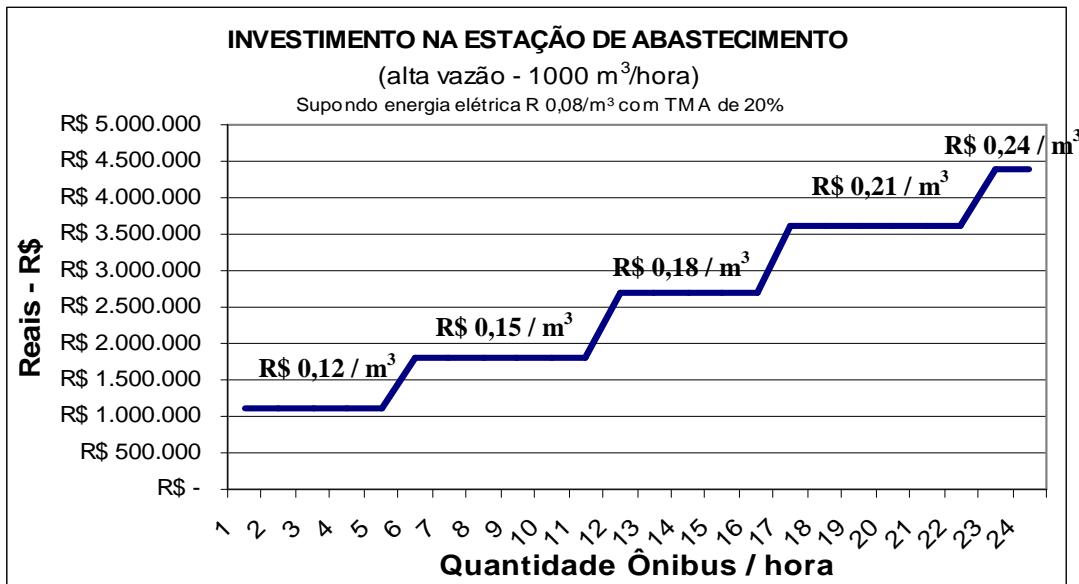
<sup>151</sup> A montagem eletromecânica do sistema de abastecimento lento tem custo mais elevado do que a montagem para abastecimento rápido, para um mesmo número de veículos a ser abastecido por dia. A justificativa está no maior número e extensão de tubulações de alta pressão que precisam ser instaladas no pátio da empresa de ônibus com fins ao abastecimento de cada ônibus em seu abastecimento noturno (lento).

Tabela 40: Estação de compressão – Abastecimento rápido (4 minutos)<sup>152</sup>.  
Frota de 70 veículos em três horas.

4 Compressores + Estocagem	R\$ 1.800.000,00
1 Compressor Reserva	R\$ 450.000,00
Montagem Eletromecânica	R\$ 80.000,00
1 Dispensers (2 linhas)	R\$ 80.000,00
Total do Conjunto	R\$ 2.410.000,00
Obra Civil	R\$ 200.000,00
Subestacão: 225 KVA p/ Conjunto	R\$ 72.000,00
<b>TOTAL</b>	<b>R\$ 2.682.000,00</b>

Fonte: (JUNQUEIRA, 2006)

Uma outra maneira de estimarem os custos associados à compressão do gás natural veicular seria através da avaliação dos custos do serviço de compressão, o qual poderia vir a ser oferecido pela companhia distribuidora de gás ou por alguma outra empresa interessada na cadeia do gás natural veicular para o transporte público de passageiros, mediante contrato de longo prazo. A figura 50 traz uma estimativa levantada pela gerência de mercado veicular da diretoria de gás e energia da PETROBRAS.



Fonte: (PETROBRAS, 2005B)

Figura 50: Investimento em estação de compressão.

<sup>152</sup> Segundo a empresa de compressores Junqueira, para o abastecimento rápido (150m<sup>3</sup> em 4 minutos/veículo) de 2 (dois) veículos simultaneamente seriam necessários 4 compressores operando em conjunto.

A Companhia Estadual de Gás do Estado do Rio de Janeiro – CEG possui uma subsidiária que presta serviços relacionados à infra-estrutura de utilização do gás natural – Gás Natural Serviços. A empresa Gás Natural Serviços poderia instalar toda a infra-estrutura de compressão do gás natural, condicionando a cobrança de uma taxa de compressão do gás natural por m<sup>3</sup> comprimido, em contratos de médio e longo prazos. Segundo a CEG, em 2006, os custos de compressão do gás natural poderiam ser estimados segundo o intervalo apresentado na tabela 41:

Tabela 41: Gás Natural Serviços – CEG.

<b>CUSTO DE ABASTECIMENTO</b>	<b>R\$ / m<sup>3</sup></b>
Custo com a Compressão	0,15 – 0,20
Custo com Energia Elétrica	0,08 – 0,12

Fonte: (CEG, 2005)

## CAPÍTULO 8 - CENÁRIOS DE VIABILIDADE ECONÔMICA

O objetivo principal deste capítulo é o levantamento e a avaliação das variáveis que possuem influência direta na viabilidade técnica e/ou econômica do uso do gás natural veicular em ônibus do transporte coletivo urbano de passageiros. Após o levantamento de inúmeras variáveis de influência, segue-se ao estudo das viabilidades econômicas para cada uma das diferentes modalidades de tecnologia já apresentadas, sendo elas: ônibus Dedicado para o uso de gás natural, kit de conversão Dual Fuel e ônibus a diesel convertido para o uso dedicado de gás natural (Ottolisação).

Os cenários criados para a avaliação da economicidade de cada uma das rotas tecnológicas propostas serão desenvolvidos com o objetivo de permitir a máxima condição de isonomia entre as realidades iniciais de implantação. As condições iniciais de investimentos no uso do gás natural em frotas de empresas de transporte serão as mesmas para cada uma das possíveis tecnologias veiculares.

Após a cenarização das possíveis viabilidades do uso do gás natural veicular no transporte coletivo de passageiros, passa-se às análises de sensibilidade das principais variáveis envolvidas no problema. O objetivo das análises de sensibilidade será a identificação das variáveis mais significativas e influentes para a economicidade do uso do gás natural em coletivos, em suas diferentes formas possíveis de implementação. A identificação das variáveis mais significativas poderá servir como subsídio para o planejamento de políticas públicas destinadas à viabilização do uso do gás natural em coletivos urbanos no Brasil.

A descrição das principais variáveis e premissas que deverão ser consideradas neste estudo de viabilidade segue detalhada na tabela 42<sup>153</sup>.

---

<sup>153</sup> A maior parte dos parâmetros apresentados na tabela acima está discutida nas análises tecnológicas dos capítulos anteriores.

Tabela 42: Variáveis e premissas para a análise de viabilidade.

VARIÁVEIS	3.1.1.1. VALOR
Preço do óleo diesel (l) <sup>a</sup>	R\$ 1,60
Preço do gás natural (m <sup>3</sup> ) <sup>b</sup>	R\$ 0,52
Preço do gás natural (m <sup>3</sup> ) <sup>c</sup>	R\$ 1,15
Preço do ônibus a diesel convencional <sup>d</sup>	R\$ 230.000,00
Preço do ônibus a gás Dedicado <sup>e</sup>	R\$ 310.000,00
Diferencial do Preço – ônibus Dedicado <sup>f</sup>	R\$ 80.000,00
Kit de conversão - Dual Fuel <sup>g</sup>	R\$ 30.000,00
Kit de conversão - Ottolisação <sup>h</sup>	R\$ 43.000,00
Custo médio de manutenção de ônibus diesel / 7 anos – Valor Presente <sup>i</sup>	R\$ 43.101,62
Depreciação de um ônibus a diesel após 7 anos de uso	70% <sup>154</sup>
Depreciação de um ônibus a gás natural Dedicado após 7 anos de uso	100% <sup>155</sup>
Depreciação de um ônibus com kit Dual Fuel após 7 anos de uso	70% <sup>156</sup>
Depreciação de um ônibus – Ottolisação após 7 anos de uso	70%
Preço da infra-estrutura de compressão (abastecimento lento-Tipo 1)	R\$ 2.000.000,00 <sup>157</sup>
Preço da infra-estrutura de compressão (abastecimento rápido-Tipo 2)	R\$ 3.500.000,00 <sup>158</sup>
Custo do Serviço de Compressão (incluindo custo com energia elétrica) / m <sup>3</sup>	R\$ 0,28 <sup>159</sup>
<b>PREMISSAS</b>	
Autonomia do veículo (km)	350 <sup>160</sup>
Vida útil dos veículos (anos)	7 <sup>161</sup>
Rendimento energético dos ônibus (autonomia) dedicado (km/m <sup>3</sup> )	1,9 <sup>162</sup>
Rendimento energético dos ônibus (autonomia) diesel convencional (km/l)	2,5 <sup>163</sup>

<sup>154</sup> A depreciação de um ônibus a diesel novo após 7 anos de uso está estimada em 70% do valor de um veículo similar novo (FETRANSPOR, 2006).

<sup>155</sup> A depreciação de um ônibus a gás natural Dedicado será considerada como de 100% devido à não existência de um mercado para comercialização de ônibus usados (Dedicados).

<sup>156</sup> A depreciação de um ônibus convertido para operar com gás natural (Dual Fuel ou Ottolisação) será considerada como igual à de um ônibus a diesel convencional, uma vez que o mesmo poderá ser reconvertido para revenda no mercado de veículos usados.

<sup>157</sup> Custo estimado para o abastecimento de uma frota de 80 veículos (150 m<sup>3</sup>/veículo.dia). Vide capítulo 7.

<sup>158</sup> Custo estimado para o abastecimento de uma frota de 80 veículos (150 m<sup>3</sup>/veículo.dia). Vide capítulo 7.

<sup>159</sup> Vide capítulo 7.

<sup>160</sup> Autonomia média (em km) de um veículo urbano no município do Rio de Janeiro (FETRANSPOR, 2006).

<sup>161</sup> Idade máxima permitida para ônibus urbanos nos municípios da região metropolitana do Rio de Janeiro. A idade máxima permitida para as frotas urbanas do município do Rio de Janeiro foi elevada para 11 anos, (Decreto da Secretaria Municipal de Transportes de Março de 2006), todavia, a maior parte dos municípios da região metropolitana ainda apresenta idade máxima menor. As frotas de ônibus urbanos intermunicipais, regulamentadas, pelo Estado e não pelos municípios, podem superar a idade máxima de 7 anos. Existem critérios diferenciados para a idade máxima destas frotas intermunicipais no Estado do Rio de Janeiro os quais podem ser obtidos junto ao Departamento Estadual de Transporte Rodoviário do Estado do Rio de Janeiro – DETRO.

<sup>162</sup> Dado obtido dos resultados do Projeto PETROBRAS Ônibus a Gás (CONPET, 2005).

<sup>163</sup> Dado obtido junto aos resultados do Projeto de Ottolisação da PETROBRAS em Porto Alegre (PETROBRAS, 2005A).

Rendimento energético dos ônibus (autonomia) Dual Fuel (km/l <sub>eq</sub> ) <sup>164</sup>	2,5
Rendimento energético ônibus (autonomia) Ottolisado (km/ m <sup>3</sup> )	2,3 <sup>165</sup>
Taxa média de substituição de diesel por gás do Kit Dual Fuel <sup>166</sup>	75%

Fontes:

a.)Preço pago pelas empresas de transporte (FETRANSPO, 2006); b.)Tarifa do gás natural veicular na região metropolitana do Rio de Janeiro - sem compressão (CEG, 2005); c.) Preço pago pelo gás natural veicular no mercado varejista de combustíveis (FETRANSPO, 2006); d.)Ônibus completo, Carroceria e Chassi. Vide capítulo 3; e.) Ônibus completo, Carroceria e Chassi. Vide capítulo 3; f.) Vide capítulo 3; g.) Vide capítulo 4; h.) Vide capítulo 5; i.) O custo de manutenção de um veículo diesel cresce à medida em que o ônibus envelhece. Será admitido que os dois primeiros anos de uso apresentarão valores menores devido ao período de garantia das partes mais importantes do motor, todavia a manutenção mecânica neste período ainda existe em virtude das manutenções preventivas e corretivas não inclusas no período de garantia (R\$ 500,00 / mês). O terceiro e quarto ano de utilização apresentam custos médios mensais estimados em 800 reais. O quinto e o sexto ano de utilização apresentam custo de 1200 reais mensais com a manutenção, e o sétimo ano de utilização custo médio mensal de 1 500 reais com manutenção (FETRNASPOR, 2006).

Considerando-se as análises tecnológicas dos capítulos anteriores desta dissertação a tabela 43 apresenta os custos com manutenção que serão utilizados neste capítulo, trazidos a valor presente. É importante destacar aqui que serão considerados os custos de manutenção do veículo Dedicado ao gás natural com base em estudos e experimentos realizados no Brasil, especificamente relacionados à tecnologia nacional da MERCEDES BENZ DO BRASIL. Os custos com manutenção para os motores Dedicados baseiam-se nos dados apresentados por Santos (2003)<sup>167</sup>. Mesmo considerando os custos com manutenção dos veículos Dedicados como sendo maiores, fez-se um cenário especial, ao final deste capítulo, destinado às condições favoráveis de entrada do motor Dedicado a gás no transporte coletivo de passageiros do Brasil. Neste cenário utilizaram-se indicadores de custo de manutenção mais próximos daqueles associados aos veículos diesel convencionais.

<sup>164</sup> A autonomia dos veículos convertidos ao gás natural através de kits Dual Fuel será considerada igual à de um veículo diesel similar, considerando 1 m<sup>3</sup> de gás = 1 litro de diesel equivalente (vide capítulo 4).

<sup>165</sup> Dado obtido junto aos resultados do Projeto de Ottolisação da PETROBRAS em Porto Alegre (PETROBRAS, 2005A).

<sup>166</sup> Essa taxa de substituição será baseada nos estudos apresentados no capítulo 4 (ORLANDO, 1998; FETRANSPO, 2006).

<sup>167</sup> Consideraremos os custos com manutenção dos veículos Dedicados a gás natural como sendo 200% superior aos veículos diesel convencionais. Outros estudos internacionais e outras experiências com motores Dedicados a gás natural revelam que essa relação pode ser muito menor (WEIDE, 2001). Experiência recente da VOLKSWAGEN com motor CUMMINS WESTPORT em São Paulo tem revelado o mesmo nível de confiabilidade do motor Dedicado comparado com seu similar diesel. Todavia, será considerada a realidade brasileira dos veículos Dedicados comercialmente disponíveis, sabendo que outras experiências já cooperaram para a diminuição do custo com manutenção que será adotado como referencial neste trabalho.

Tabela 43: Custo de manutenção para as diferentes rotas tecnológicas apresentadas.

<b>Tecnologia</b>	<b>Período de Operação (anos)</b>	<b>Custo de manutenção</b> <b>Valor Presente<sup>168</sup></b> <b>(R\$)</b>	<b>Diferencial do Custo de Manutenção em Relação ao Diesel (R\$)</b>
<b>Diesel</b>	7	43.101,62	-
<b>Dedicado</b>	7	129.304,86	86.203,24
<b>Dual Fuel</b>	7	55.217,32	12.115,70
<b>Ottolisação</b>	7	3.1.2 57.236,60	14.134,98

<sup>168</sup> Taxa básica de juros (Selic) no Brasil, considerada no mês de Abril de 2006, a saber: 15,75%. Será adotado o valor arredondado de 16%.

## **8.1 – Viabilidade para 1 veículo**

Nesta primeira avaliação será feita uma estimativa preliminar da economicidade do uso do gás natural em apenas um veículo, aplicando as diferentes rotas tecnológicas possíveis. Como se trata de apenas um veículo não caberá a justificativa da provisão de infra-estrutura de compressão e abastecimento dentro da garagem. Sendo assim, será utilizado o preço médio do gás natural veicular do mercado varejista de combustível (R\$1,15 / m<sup>3</sup>) (ANP, 2005). Logo após esta simulação utilizaremos o valor de referência oferecido pela PETROBRAS de 55% do preço do óleo diesel (R\$ 0,88 / m<sup>3</sup>) (PETROBRAS, 2005C).

Haverá metodologias de cálculo similares que deverão ser aplicadas em situações hipotéticas que simularão cenários diferenciados de inserção de veículos movidos a gás natural. Todas as metodologias encontram-se apresentadas no Anexo III deste trabalho. Os resultados serão apresentados diretamente em tabelas, as quais serão discutidas para cada cenário de avaliação.

### 8.1.1 – Viabilidade com preço do gás no mercado varejista

Neste primeiro cenário de viabilidade econômica serão apresentadas 2 tabelas contendo as principais variáveis e premissas necessárias a esta avaliação.

Tabela 44: Descrição dos parâmetros a serem consideradas para as análises do primeiro cenário de viabilidade econômica – 1 veículo apenas.

Variáveis e Premissas	Dual	Ottolisação	Dedicado
Investimento Inicial - Veicular (R\$)	30.000,00	43.000,00	80.000,00
Investimento Inicial - Infra-Estrutura (R\$) - tipo 1	-	-	-
Investimento Inicial - Infra-Estrutura (R\$) - tipo 2	-	-	-
Custo de oportunidade da revenda do ônibus a diesel	-	-	(69.000) <sup>169</sup>
Custo de oportunidade da revenda do ônibus a diesel - VP <sup>170</sup>	-	-	(24.414)
Consumo (km/l <sub>eq</sub> ) – (1m <sup>3</sup> = 1 litro equivalente de diesel)	2,5	2,3	1,9
Substituição média (%)	75%	100% <sup>171</sup>	100%
Número de cilindros <sup>172</sup>	4	6	8
Cap. cilindros (m <sup>3</sup> /cilindro) <sup>173</sup>	30	30	30
Reabastecimento (km) <sup>174</sup>	350	350	350
Autonomia com gás natural (km) <sup>175</sup>	375	414	456
Margem Segurança <sup>176</sup>	7%	18%	30%

<sup>169</sup> Vide capítulo 3.

<sup>170</sup> Custo de oportunidade da revenda do ônibus a diesel trazido a valor presente.

<sup>171</sup> A taxa de substituição de diesel na rota tecnológica de Ottolisação e na rota Dedicada é de 100%. Isso se justifica pelo fato de essas tecnologias serem do ciclo Otto para uso dedicado do gás natural, não podendo ser utilizado diesel para o funcionamento desses motores.

<sup>172</sup> O sistema de conversão Dual Fuel trabalha com um número menor de cilindros devido ao seu melhor rendimento térmico (ORLANDO, 1998) e seu consumo piloto de diesel (25%). O ônibus dedicado da MBB sai de fábrica equipado com 8 cilindros. O ônibus convertido por Ottolisação deverá necessitar de menor capacidade volumétrica, quando comparado ao Dedicado, devido ao seu bom rendimento energético (2,3 km/l) apresentado pelo projeto da PETROBRAS em Porto Alegre (vide capítulo 4). Todos os cilindros aqui considerados são idênticos e padronizados com capacidade volumétrica de 120 litros.

<sup>173</sup> Cilindro convencional em aço da empresa brasileira CILBRAS – capacidade volumétrica de 120 litros.

<sup>174</sup> O reabastecimento de gás natural deverá ser realizado uma vez por dia permitindo ao veículo ter a autonomia média de 350 km/dia. A autonomia de 350 km/dia é a média dos veículos que operam as linhas municipais da cidade do Rio de Janeiro (FETRANSPO, 2006).

<sup>175</sup> Esta autonomia é a estimativa dada pela capacidade volumétrica associada ao número de cilindros de armazenamento previsto para cada rota tecnológica, associado ao rendimento energético das mesmas (km/m<sup>3</sup>).

<sup>176</sup> A margem de segurança consiste na margem extra dada à autonomia diária dos veículos para o número de cilindros considerado. Pode-se entender que a margem de segurança dos veículos convertidos pela rota Dual Fuel deva ser menor, uma vez que estes veículos poderiam também operar 100% a diesel. O objetivo da margem de segurança nos processos de uso do gás natural em ônibus urbanos é evitar a parada dos veículos em operação por pane seca.

Tabela 45: Descrição dos parâmetros a serem consideradas para as análises do primeiro cenário de viabilidade econômica – 1 veículo apenas.

3.1.2.1.1 Variáveis e Premissas	Valor
Dias úteis (d/mês) <sup>177</sup>	26
Dias úteis (d/ano)	312
Dias úteis do ônibus (7 anos)	2.184
Vida Útil do ônibus em dias (7 anos) <sup>178</sup>	2555
Número de ônibus <sup>179</sup>	1
Rendimento energético (ônibus diesel) - km/l	2,5
km rodados por dia	350
Preço do diesel por litro	1,60
Preço do GNV por m <sup>3</sup> – Garagem – Tarifa CEG	0,52
Preço do GNV por m <sup>3</sup> – Posto – Mercado Varejista	1,15
Cons. Diesel (l/dia útil) <sup>180</sup>	140
Cons. Diesel (l/mês)	3.640
Cons. Diesel (l/ano)	43.680
Cons. Diesel (l/vida útil)	305.760
Taxa de desconto aa (ao ano)	16,0% <sup>181</sup>
Taxa de desconto am (ao mês)	1,24%
Taxa de desconto ad (ao dia)	0,041%

Ambas as tabelas apresentadas acima (44 e 45) serão utilizadas para as avaliações de viabilidade econômica em todos os cenários propostos neste capítulo. Será importante ressaltar as diferenças associadas à utilização, ou não, de taxa de desconto para a avaliação de economicidade das rotas tecnológicas do gás natural em comparação à tecnologia diesel.

Para a avaliação de apenas 1 veículo será feita a distinção entre a avaliação sem taxa de desconto e a avaliação com taxa de desconto. Todavia, quando forem iniciadas as avaliações dos cenários de inserção de frotas, apenas a avaliação de viabilidade econômica com taxa de desconto será considerada.

<sup>177</sup> Valor médio de utilização da frota descontando-se domingos e feriados. Lembrando-se que mesmos nesses dias ainda existe operação de parte das frotas operantes.

<sup>178</sup> A vida útil dos ônibus em dias (7anos) difere de dias úteis (d/ano). A vida útil dos ônibus em dias (7 anos) considera todos os dias do ano (365 dias).

<sup>179</sup> Os primeiros cenários serão para a inserção de apenas 1 veículo, passando posteriormente à inserção de frotas (80 veículos Dedicados de referência).

<sup>180</sup> A quantidade de óleo diesel consumida por dia na operação de um ônibus a diesel convencional foi fixada em 140 litros (com rendimento energético - autonomia de 2,5 km/l). Todavia, para efeito de cálculo dos valores presentes associados a estes consumos diários, foi estabelecida uma distribuição dos 140 litros diários entre os dias de não operação das frotas do transporte público de passageiros (domingos e feriados, por exemplo). Ficou então definido que o consumo médio diário de combustível de um ônibus diesel convencional seria de 119,67 litros. Isso significará um custo médio diário de combustível de R\$191,47 por veículo. Estes valores serão empregados em todos em todas as avaliações dos cenários propostos para a utilização de taxa de desconto, trazendo as entradas e saídas do fluxo de caixa para valor presente.

<sup>181</sup> Taxa básica de juros (Selic) no Brasil, considerada no mês de Abril de 2006, a saber: 15,75%. Será adotado o valor arredondado de 16%.

### 3.1.3 Avaliação sem utilização de taxa de desconto

A conta de combustível (Conta de Diesel) está avaliada na tabela 46 para a vida útil de 1 ônibus a diesel. O consumo e a Conta do Gás Natural serão comparados com o valor da Conta de Diesel aqui apresentada, para o período de vida útil de 1 ônibus (7 anos).

Tabela 46: Conta de óleo diesel de 1 veículo a diesel convencional (R\$/dia)

Dias úteis (d/mês)	26
Rodagem (km/dia)	350
Rodagem (km/ano)	109.200
Cons. Diesel (l/ano)	43.680
Conta Diesel (R\$/ano)	69.888,00
Conta Diesel (R\$/Vida útil)	489.216,00

A tabela 47 traz a comparação entre a viabilidade econômica das diferentes rotas tecnológicas sem a inserção da taxa de desconto na contabilidade do fluxo de caixa do modelo econômico. O preço do gás natural é aquele praticado no mercado varejista (R\$1,15 / m<sup>3</sup>).

Tabela 47: Receita líquida na vida útil de 1 veículo movido a gás natural.

Por Veículo	Dual Fuel	Ottolisação	Dedicado
Cons. Diesel (l/Vida Útil)	76.440	-	-
Conta Diesel (R\$/Vida Útil)	122.304,00	-	-
Cons. Gás (m3/Vida útil)	229.320	332.348	402.316
Conta Gás (R\$/Vida útil)	263.718,00	382.200,00	462.663,00
Conta Comb. Total (R\$/vida útil)	386.022,00	382.200,00	462.663,00
Economia de Combustível (R\$/vida útil)	103.194,00	107.016,00	26.553,00
Economia Vida útil (%)	21,1%	21,9%	5,4%
Investimento Inicial - Veicular (R\$)	<b>-30.000,00</b>	<b>-43.000,00</b>	<b>-80.000,00</b>
Manutenção (Vida útil) (R\$)	<b>-21.000,00</b>	<b>-24.500,00</b>	<b>-156.000,00</b>
Custo de oportunidade da revenda do ônibus a diesel <sup>182</sup>	0	0	<b>-69.000,00</b>
Receita líquida vida útil (R\$)	52.194,00	39.516,00	<b>-278.447,00</b>

<sup>182</sup> Os veículos a gás natural necessitarão ser revendidos logo após sua vida útil nos grandes centros urbanos abastecidos com gás natural. Os veículos diesel já possuem seu mercado secundário de veículos usados. Sendo assim, precisa-se ser considerado, também, o custo de oportunidade da revenda dos veículos diesel convencionais, principalmente pelo fato de não existir, ainda, mercado secundário para revenda de ônibus a gás natural no país. Vide capítulo 3.

Inicialmente percebe-se uma desvantagem bastante significativa relacionada à tecnologia de veículos Dedicados de fábrica ao gás natural. Os principais fatores, aparentemente os mais impactantes, para esta desvantagem econômica observada são: o custo de manutenção e o custo de oportunidade da revenda do veículo (o veículo Dedicado ao uso do gás natural ainda não apresenta mercado desenvolvido para revenda dos veículos usados). A tecnologia Dual Fuel aparece com o maior potencial de retorno econômico (Receita Líquida na Vida Útil) seguida pela tecnologia de Ottolisação. A tecnologia de ônibus Dedicado de fábrica apresentou um retorno econômico negativo (prejuízo) de mais de 270 mil reais em toda a vida útil do veículo, quando comparada a um veículo diesel convencional.

Esta primeira avaliação de viabilidade econômica reflete a avaliação mais precária que se pode realizar sobre as possíveis tecnologias veiculares para uso do gás natural em ônibus. Por não considerar a remuneração do capital investido pelos empresários, este tipo de avaliação pode resultar em conclusões distorcidas da real economicidade das diferentes tecnologias estudadas. O tópico seguinte traz em valores presentes todos os dados da tabela 47, sendo este o procedimento que será adotado para todas as avaliações de inserção de frotas maiores do que 1 veículo, nos tópicos posteriores deste capítulo.

### Avaliação com a utilização de taxa de desconto

As tabelas 48 e 49 avaliam a economicidade da inserção de apenas 1 veículo para a operação com gás natural veicular com a aplicação de taxa de desconto. Prossegue-se com a utilização do preço do gás natural a R\$1,15 / m<sup>3</sup> (mercado varejista). Todos os valores do fluxo de caixa são trazidos a valor presente, para cada uma das rotas tecnológicas apresentadas.

Tabela 48: Conta de óleo diesel, em valor presente, de 1 veículo a diesel convencional (R\$/dia).

Dias úteis (d/mês)	26
Rodagem (km/dia)	350
Conta Diesel (R\$/dia)	224,00
Conta Diesel (R\$/Vida útil) - Valor Presente	304.203,71 <sup>183</sup>

<sup>183</sup> Esse valor presente é calculado com o valor diário de combustível equivalente a R\$ 191,47, e não R\$ 224,00. O consumo diário de combustível é distribuído também entre os dias de operação reduzida da frota (sábados, domingos e feriados). São considerados no cálculo do valor presente os 2555 dias dos 7 anos de operação.

Tabela 49: Receita líquida, em valor presente, na vida útil de 1 veículo movido a gás natural.

Por Veículo	Dual Fuel	Ottolisação	Dedicado
Cons. Diesel (l/dia)	35	-	-
Conta Diesel (R\$/dia)	56,00	-	-
Cons. Gás (m3/dia)	105	152	184
Conta Gás (R\$/dia)	121,00	175,00	212,00
Conta Comb. Total (R\$/dia útil)	177,00	175,00	212,00
Conta Comb. Total (R\$/dia comum)	151,00	150,00	181,00
Conta Comb. Total (R\$/Vida útil) - Valor Presente	240.038,00	237.662,00	287.696,00
Economia de Combustível (R\$/Vida útil) - Valor Presente	64.165,00	66.542,00	16.508,00
Economia Vida útil (%) - Valor Presente	21,1%	21,9%	5,4%
Investimento Inicial - Veicular (R\$)	<b>-30.000,00</b>	<b>-43.000,00</b>	<b>-80.000,00</b>
Manutenção (Vida útil) (R\$) - Valor Presente	<b>- 12.115,70</b>	<b>- 14.134,98</b>	<b>-86.203,24</b>
Custo de oportunidade da revenda do ônibus a diesel - VP	0	0	<b>- 24.414,24</b>
Receita líquida vida útil (R\$) - Valor Presente	22.049,80	9.407,13	<b>-174.109,38</b>

A desvantagem econômica da tecnologia Dedicada se repete, como era esperado, porém, a vantagem econômica das outras rotas cai sensivelmente. Pode-se observar que, para o preço do combustível gás natural no mercado varejista (R\$1,15 / m<sup>3</sup>), o retorno econômico de um carro convertido é menor que o investimento inicial realizado na conversão dos veículos (Dual Fuel ou Ottolisação). É certo que o retorno econômico do investimento também será garantido pela taxa de juros adotada (16% ao ano). O que deve ser observado é exatamente a percepção do risco associado ao processo de inovação tecnológica, o qual deve ser sempre contrabalanceado com as possibilidades de ganhos econômicos associados aos investimentos iniciais. Para o preço de combustível adotado (mercado varejista), a Receita Líquida Final apresenta-se com pouca atratividade, uma vez que esta não pôde alcançar a ordem de grandeza do valor do investimento inicial realizado para a conversão do veículo e, principalmente, pelo fato de se estar trabalhando com o longo período de operação para retorno do investimento de 7 anos<sup>184</sup>.

<sup>184</sup> É verdade o fato de que o capital investido foi recuperado. O que se pretende dizer é que o lucro obtido ao final de 7 anos de operação com os ônibus ficou abaixo do valor de capital de investimento inicial em tecnologia veicular. Esta é uma avaliação do conceito de risco do investidor que não será discutida com profundidade neste trabalho. Deve-se pesar o quanto se deveria lucrar com o tamanho do risco que se pretende aceitar, para o processo de inovação tecnológica proposto.

### 8.1.2 – Viabilidade com preço do gás a 55% do preço do diesel

Uma outra importante abordagem a ser feita aproveita-se da possibilidade sugerida pela PETROBRAS em garantir a fixação do preço final do gás natural em até 55% do preço final do diesel por um período de 10 anos consecutivos para as empresas de transporte de passageiros que quisessem investir na conversão de suas frotas (PETROBRAS, 2005C). A possibilidade de substituição do diesel por gás natural em valores compatíveis com a proposta feita pela PETROBRAS pode alterar significativamente a atratividade econômica do uso do gás natural apresentada pela avaliação anterior.

#### Avaliação sem utilização de taxa de desconto

A tabela 50 apresenta a receita líquida obtida por 1 veículo rodando a gás natural com preço final do gás sugerido pela PETROBRAS, a saber: R\$ 0,88 / m<sup>3</sup>.

Tabela 50: Receita Líquida na vida útil de 1 veículo movido a gás natural.

Por Veículo	Dual Fuel	Ottolisação	Dedicado
Cons. Diesel (l/Vida Útil)	76.440	-	-
Conta Diesel (R\$/Vida Útil)	122.304,00	-	-
Cons. Gás (m3/Vida útil)	229.320	332.348	402.316
Conta Gás (R\$/Vida útil)	201.802,00	292.466,00	354.038,00
Conta Comb. Total (R\$/vida útil)	324.106,00	292.466,00	354.038,00
Economia de Combustível (R\$/vida útil)	165.110,00	196.750,00	135.178,00
Economia Vida útil (%)	33,8%	40,2%	27,6%
Investimento Inicial - Veicular (R\$)	-30.000,00	-43.000,00	-80.000,00
Custo de Manutenção (Vida útil) (R\$)	-21.000,00	-24.500,00	-156.000,00
Custo de Oportunidade da Revenda do Ônibus a Diesel (R\$)	0	0	-69.000,00
Receita Líquida Vida Útil (R\$)	114.110,00	129.250,00	-169.822,00

Pode-se observar nos resultados acima que a atratividade econômica da rota tecnológica de Ottolisação começa a superar a rota Dual Fuel, fato esse já esperado pelo fato de os veículos Ottolisados utilizarem 100% de gás natural (semelhantemente aos veículos Dedicados de fábrica ao uso do gás natural).

Outro resultado importante é a constatação relacionada ao item Economia de Combustível. Como se pode observar a tecnologia de Ottolisação apresenta potencial de economia, sobre a tecnologia diesel convencional, de 40, 2%, seguida das tecnologias Dual Fuel e Dedicada com 33,8% e 27,6%, respectivamente. É importante ressaltar que as tecnologias Dual Fuel e de Ottolisação permanecem com seu potencial de viabilidade econômica, observando a Receita Líquida Vida Útil, enquanto que a tecnologia Dedicada perde totalmente seu potencial de viabilidade econômica devido à entrada das variáveis: Investimento Inicial Veicular, Custo de Manutenção e Custo de Oportunidade da Revenda do Ônibus Diesel. Essas são variáveis críticas que deverão ser equacionadas para a viabilização econômica da rota tecnológica Dedicada em coletivos urbanos no Brasil.

## AVALIAÇÃO COM A UTILIZAÇÃO DE TAXA DE DESCONTO

Nesta avaliação, os dados apresentados na tabela 50 são trazidos a valor presente utilizando-se a taxa de desconto padronizada neste capítulo de 16% ao ano. A tabela 51 apresenta os números desta transformação. Mantém-se preço do gás (R\$0,88 / m<sup>3</sup>).

Tabela 51: Receita Líquida, em valor presente, na vida útil de um veículo movido a gás natural.

Por Veículo	Dual Fuel	Ottolisação	Dedicado
Cons. Diesel (l/dia)	35	-	-
Conta Diesel (R\$/dia)	56,00	-	-
Cons. Gás (m <sup>3</sup> /dia)	105	152	184
Conta Gás (R\$/dia)	92,00	134,00	162,00
Conta Comb. Total (R\$/dia útil)	148,00	134,00	162,00
Conta Comb. Total (R\$/dia comum)	127,00	114,00	139,00
Conta Comb. Total (R\$/Vida útil) - Valor Presente	201.537,00	181.863,00	220.150,00
Economia de Combustível (R\$/Vida útil) - Valor Presente	102.667,00	122.341,00	84.054,00
Economia Vida útil (%) - Valor Presente	33,8%	40,2%	27,6%
Investimento Inicial - Veicular (R\$)	<b>-30.000,00</b>	<b>-43.000,00</b>	<b>-80.000,00</b>
Manutenção (Vida útil) (R\$) - Valor Presente	<b>- 12.115,70</b>	<b>- 14.134,98</b>	<b>-86.203,24</b>
Custo de Oportunidade da Revenda do Ônibus a Diesel – VP (R\$)	0	0	<b>-24.414,24</b>
Receita Líquida Vida Útil (R\$) - Valor Presente	60.550,98	65.205,94	<b>-106.563,46</b>

A rota Dual Fuel fica em segundo lugar no critério atratividade econômica, porém, seu retorno econômico em valor presente cresce muitíssimo quando comparado ao cenário anterior, quando o preço do gás foi considerado o do mercado varejista (R\$ 1,15 / m<sup>3</sup>). A diminuição do custo do combustível de 23,5% significou um aumento de 175% da Receita Líquida-Valor Presente para a rota Dual Fuel, passando de R\$ 22.049,80 para R\$ 60.550,98. O risco associado ao investimento cai sensivelmente quando cai também o preço do gás natural em relação ao preço do diesel<sup>185</sup>. Com preço do gás natural passando de R\$ 1,15 para R\$ 0,88 tivemos uma redução de 23,5 %. Isso significou um aumento de 175% na Receita Líquida-Valor Presente da rota tecnológica Dual Fuel e de 593% para a rota tecnológica de Ottolisação.

A rota tecnológica de motores Dedicados continuou apresentando Receita Líquida negativa (prejuízos).

A sensibilidade ao preço final do gás natural é maior para a rota tecnológica de Ottolisação, em relação ao Dual Fuel. Reduções pequenas do custo do energético podem significar maiores aumentos na Receita Líquida-Valor Presente (retorno econômico).

A Figura 51 e a tabela 52 ilustram esse resultado ao comparar preço do energético e receita líquida em valor presente para a conversão de apenas um veículo.

---

<sup>185</sup> A Receita Líquida-Valor Presente obtida com o preço do gás natural fixado em 55% ao preço do diesel significa o equivalente a 1,52 vezes o investimento inicial realizado com tecnologia veicular de Ottolisação e 2,02 vezes o investimento inicial realizado com tecnologia veicular Dual Fuel. Pode-se considerar que o risco associado ao retorno do investimento inicial de conversão de frotas para o uso do gás natural é menor para a rota tecnológica Dual Fuel, e maior para a rota tecnológica de Ottolisação. Todavia, a Receita Líquida-Valor Presente da rota Dual Fuel é 7% menor do que a rota tecnológica de Ottolisação. A rota tecnológica de motores Dedicados também apresenta redução do seu risco de viabilidade econômica com a manutenção do preço do gás natural em 55% ao preço do diesel.

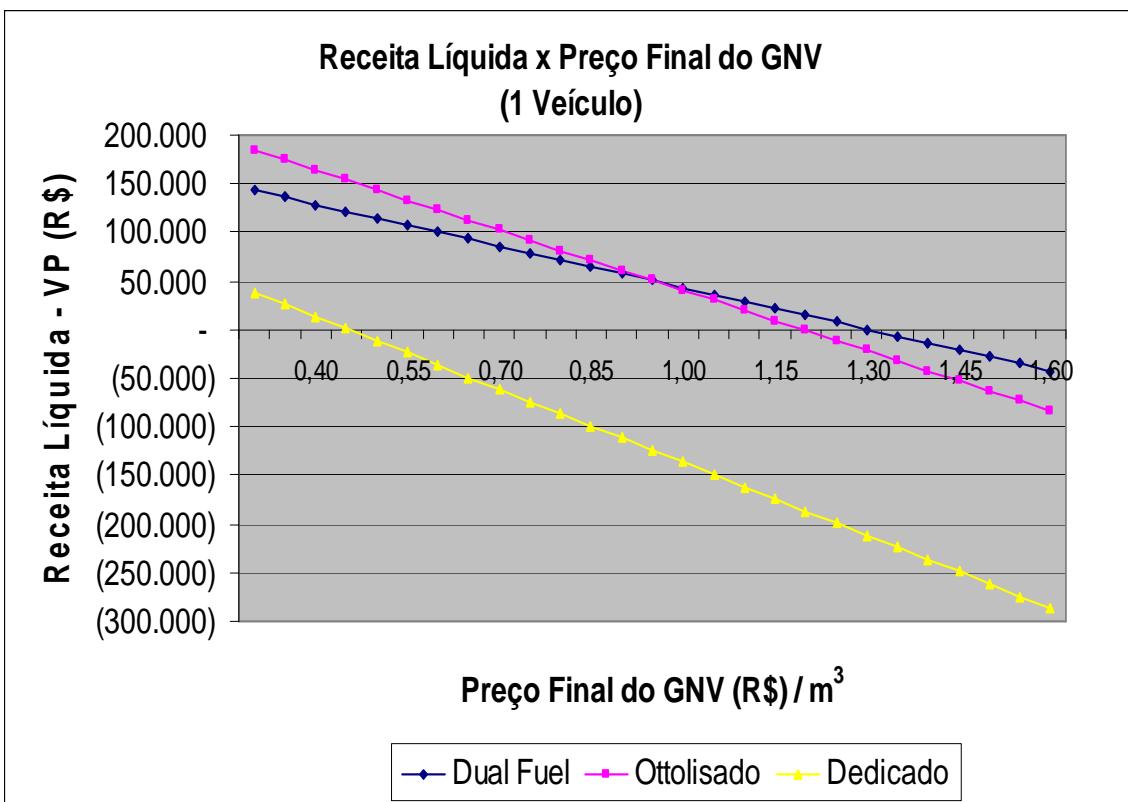


Figura 51: Gráfico da receita líquida em valor presente e o preço final do gás natural.

Tabela 52: Receita Líquida, em valor presente, na vida útil de um veículo movido a gás natural.

Tecnologia	Preço do Gás Natural (R\$/m³) para Receita Líquida Nula	Inclinação da Curva
Dual Fuel	1,305	-14260
Ottolisção	1,196	-20666
Dedicado	0,454	-25016

A inclinação das curvas revela a sensibilidade das rotas tecnológicas, em termos de retorno econômico, ao preço final do gás natural. Pode-se perceber que, apesar de a tecnologia Dedicada ser a menos atraente (do ponto de vista de retorno econômico), esta é a que possui a maior relação angular entre receita líquida e preço final do gás natural (quanto menor for o coeficiente de inclinação da curva maior é a sensibilidade).

É interessante observar o quanto a curva da tecnologia Dedicada encontra-se deslocada (afastada) das outras rotas de tecnologias veiculares. As causas deste afastamento já foram apresentadas, a saber: o maior custo de aquisição do veículo, maior custo da manutenção do veículo<sup>186</sup> e indisponibilidade do mercado de revenda de veículos dedicados ao uso do gás natural (custo de oportunidade de revenda do ônibus a diesel).

---

<sup>186</sup> O maior custo de manutenção da tecnologia Dedicada está sendo considerado diante das experiências nacionais com ônibus fabricados pela montadora MBB. Existem outras experiências internacionais que apresentam a tecnologia Dedicada como tendo os mesmos indicadores de custos com manutenção dos veículos diesel convencionais. No último item deste capítulo será avaliada a viabilidade econômica da tecnologia Dedicada com considerações especiais de operação, onde o custo de manutenção será reduzido a patamares próximos ao custo de manutenção de ônibus a diesel.

## 8.2 – Viabilidade para uma frota de 80 veículos

A partir desta seção serão avaliadas as condições de viabilidade econômica para os cenários de inserção de frotas superiores a 1 veículo. Será adotado o padrão de inserção de uma frota de 80 veículos capaz de justificar os investimentos de infra-estrutura de abastecimento e compressão dentro de uma garagem de ônibus. O sub-item abaixo traz em detalhes a metodologia a ser considerada para os cenários de inserção de frotas.

### 8.2.1 – Metodologia e condições de contorno consideradas

Uma das fontes de erro mais comum observada nas avaliações de viabilidade econômica do uso do gás natural para coletivo é a definição de uma condição inicial pautada na realidade econômico-financeira das empresas de transporte<sup>187</sup>. Outro fator importante é a falta de condições de isonomia para a aplicação das diferentes tecnologias disponíveis para o uso do gás natural em ônibus. Urge compreender a diferença entre a substituição de um ônibus a diesel por outro novo Dedicado ao gás natural a gás natural e a conversão de um ônibus a diesel para o uso do gás natural. Quando se converte um ônibus a diesel, já existente, para o uso do gás natural aproveita-se o capital já investido a priori, capital este pertencente ao patrimônio da empresa transportadora (entenda-se o ônibus). Todavia, a única maneira de se utilizar um ônibus com tecnologia Dedicada ao uso do gás natural (de fábrica - ciclo Otto) é através da aquisição de um veículo novo, uma vez não existir, ainda, mercado de veículos coletivos dedicados ao uso do gás natural veicular no Brasil.

Quando se imagina uma situação hipotética de inserção de, por exemplo: 60 ônibus dedicados ao uso do gás em uma empresa de transporte, é importante compreender não ser esta uma hipótese comum de substituição e renovação de uma frota de ônibus urbanos em uma empresa<sup>188</sup>. Os equívocos acontecem justamente

---

<sup>187</sup> Vide (RIBEIRO, 2001A; MACHADO, 2004; MACHADO, 2005; LASTRES, 2004, PETROBRAS, 2005A; PETROBRAS, 2005B). As principais distorções de avaliação da viabilidade econômica destas experiências foram: não consideração das variáveis revenda do veículo, custo de manutenção do veículo a gás, não inserção de frota com condição inicial pautada na realidade econômico-financeira das empresas e falta de um cenário de isonomia que permita a comparação clara entre as diferentes rotas tecnológicas possíveis.

<sup>188</sup> Normalmente é irreal a inserção de 60 novos ônibus / ano em uma empresa de transportes, não em condições normais de operação. As empresas possuem seus programas anuais de renovação de frota, os

quando os pesquisadores passam a utilizar hipóteses pouco fundamentadas no cotidiano das atividades do transportador, o que pode conduzir a distorções e equívocos em suas análises de viabilidade. Quando se faz a simulação da entrada de um número muito grande de veículos novos dedicados ao uso do gás natural em uma empresa de ônibus não mais é possível simplificar<sup>189</sup> a estimativa dos investimentos iniciais necessários à implementação destes veículos. Normalmente, quando é estimado o investimento necessário para a implementação de novos veículos Dedicados ao uso do gás simula-se a diferença dos custos entre um veículo novo convencional a diesel e um veículo novo Dedicado ao uso do gás natural. Todavia esta simplificação não é apropriada para uma renovação de frota superior à renovação de frota anual média da empresa imaginada.

Procurou-se resolver a questão acima estabelecendo-se a hipótese de que o empresário realizará a inserção de ônibus novos dedicados ao gás natural na mesma proporção em que realiza sua renovação anual média da frota. Segundo dados fornecidos pela FETRANSPO, a taxa média de renovação anual das frotas, encontrada dentro das empresas de transporte do Estado do Rio de Janeiro, estaria entre 5 a 10% do total da frota operante.

Sendo assim, toma-se como condição inicial deste estudo de viabilidade a necessidade de inserção de frotas de veículos dedicados não superior à proporção da renovação anual de veículos a diesel convencionais.

O esforço por criar condições iniciais de igualdade reside no objetivo final de comparação do desempenho entre as diferentes tecnologias disponíveis para o uso do gás natural em ônibus, em relação ao óleo diesel, e em relação umas às outras. Mais do que comparar a viabilidade do uso do gás natural em relação ao diesel deseja-se avaliar as vantagens e desvantagens de cada uma das tecnologias quando comparadas entre si. Pode-se considerar um investimento de capital inicial de diferentes formas, porém é razoável esperar que os resultados sejam também diferenciados.

---

quais deveriam ser levados em conta quando da possibilidade de substituição de ônibus a diesel por gás natural.

<sup>189</sup> Normalmente adota-se o diferencial de preço entre um motor diesel convencional e um motor a gás dedicado como sendo o investimento inicial necessário à conversão de uma frota. Todavia, distorções podem ocorrer quando a substituição de frota for planejada em desacordo com a renovação de frota anual de uma empresa operadora.

Como nas outras seções deste capítulo, para os cenários de viabilidade propostos será considerada uma taxa de desconto de 16% ao ano<sup>190</sup> com fins à comparação de desempenho das três rotas tecnológicas estudadas em valor econômico presente.

Com a inserção de frotas passa-se a incluir em nosso modelo de viabilidade a variável infra-estrutura de abastecimento (compressão). Para o abastecimento de um número elevado de veículos torna-se impraticável o abastecimento externo à garagem, por questões de logística e de custo<sup>191</sup>.

Inicialmente será considerado o preço relativo do gás natural para o transporte público de passageiros em 55% do valor do óleo diesel, valor este proposto pela PETROBRAS. Logo após, então, utilizar-se-ão os cenários desenhados com custo de infra-estrutura de abastecimento (compressão do gás), Tipo 1 e Tipo 2<sup>192</sup>, e com a tarifa do preço do gás natural veicular fornecido pela CEG hoje (R\$ 0,52). Não será considerado o cenário com o preço do gás natural no mercado varejista (R\$ 1,15).

Uma outra forma de se abordar a viabilidade econômica do uso do gás será através do custo do serviço de compressão do gás natural<sup>193</sup>, o qual também poderá se tornar uma opção de solução ao problema da compressão do gás dentro das garagens.

Todas essas possibilidades serão testadas para uma empresa hipotética com frota operante de 400 ônibus<sup>194</sup>. Serão utilizadas duas taxas diferentes de renovação

---

<sup>190</sup> Taxa básica de juros (Selic) no Brasil, considerada no mês de Abril de 2006, a saber: 15,75%. Vide tabela 45.

<sup>191</sup> Entenda-se por abastecimento externo o abastecimento em postos comuns de combustíveis do mercado varejista. Existem possibilidades viáveis de abastecimento externo de frotas de empresas, como postos de abastecimento comunitários (Ex: posto Água Branca, Barra Funda – São Paulo, década de 90) (SANTOS, 2003). Vide capítulo 7.

<sup>192</sup> A infra-estrutura de abastecimento e compressão está sendo considerada em dois níveis: Tipo 1 – abastecimento lento dos veículos e Tipo 2 – abastecimento rápido dos veículos.

<sup>193</sup> O custo do serviço de compressão do gás natural está abordado no capítulo 7. Entende-se por custo do serviço de compressão a margem do preço final do gás natural entregue à empresa prestadora do serviço de compressão, a qual oferece os serviços às empresas de ônibus que pagam apenas pelo m<sup>3</sup> de gás natural comprimido e entregue aos ônibus.

<sup>194</sup> Uma empresa hipotética de 400 ônibus não expressa a realidade de todas as empresas de ônibus dos grandes centros urbanos do país. Existem algumas grandes empresas urbanas com frotas superiores a 400 ônibus tanto na região metropolitana de São Paulo como do Rio de Janeiro. Seria possível a utilização de uma empresa hipotética de 200 ônibus (situação encontrada para a maior parte das empresas nas cidades citadas), todavia, para fins de simplificação da metodologia de cálculo adotada, será considerada a inserção hipotética de inserção de frota em uma empresa de 400 veículos. A substituição de 10% desta frota anualmente significará a inserção de 40 novos veículos ao ano, os quais

anual de frota, a saber: 5% e 10%<sup>195</sup>. Sendo assim, a entrada de veículos novos a gás natural prima por trazer condições naturais de renovação das frotas já existentes, sem um aumento forçado do número de veículos necessários às operações normais do transporte. Uma empresa que possui uma frota de 400 ônibus renovará 20 veículos anualmente, para uma taxa média anual de renovação de frota de 5%, ou 40 veículos anualmente, para uma renovação de 10% ao ano.

O objetivo ao estabelecer uma renovação de frota anual, próxima da realidade, visa fornecer condições de competitividade entre as diferentes tecnologias veiculares, uma vez que se pretende fazer comparação entre kits de conversão para veículos usados com os veículos novos dedicados ao uso do gás natural. As condições de isonomia para a comparação de desempenho econômico entre as diferentes rotas tecnológicas se dará através do investimento de um capital comum, entre as diferentes tecnologias, e a receita líquida obtida após a utilização do gás natural, em substituição ao óleo diesel, pelas três diferentes opções de tecnologia veicular apresentadas<sup>196</sup>.

---

poderiam ser movidos a gás natural. Em dois anos seriam 80 veículos operando, o que justificaria o investimento em uma infra-estrutura de compressão e abastecimento. Basicamente esse foi o critério escolhido para a aplicação dos cenários sob a realidade de uma empresa de 400 ônibus. Todos os cálculos e cenários podem ser refeitos para cenários de empresas menores (300, 200 ou 100 veículos).

<sup>195</sup> Intervalo que contém a média da taxa de renovação de frota de ônibus urbanos da região metropolitana do Rio de Janeiro (FETRANSPO, 2006).

<sup>196</sup> Pretende-se dizer que para o mesmo investimento de substituição de um ônibus a diesel por um ônibus Dedicado ao gás natural poderia se estar investindo na conversão de 2,42 veículos a gás movidos gás natural com tecnologia Dual Fuel ou 1,86 veículos movidos a gás natural com tecnologia de Ottolização (sobre-custo de investimento veicular: Dedicado é igual a R\$ 80.000,00; Dual Fue é igual a R\$30.000,00; Ottolisado é igual a R\$43.000,00). O que está sendo sugerido é que um mesmo empresário de transporte investindo, hipoteticamente, 10 milhões de reais de forma diferente, exclusivamente em uma das três rotas tecnológicas distintas, terá seu retorno econômico (diante do seu investimento comum de 10 milhões de reais) diferenciado. Essa diferenciação é que fará avaliação entre a economicidade das diferentes rotas tecnológicas apresentadas.

## 8.2.2 – Viabilidade com preço do gás a 55% do preço do diesel – inserção de 20 veículos Dedicados / ano

Neste primeiro cenário de viabilidade econômica de inserção de frotas será considerada a inserção de ônibus a uma taxa média anual de renovação de frota de 5%, o que significará a entrada anual de 20 ônibus novos Dedicados ao uso do gás natural. Para se alcançar a meta de 80 veículos em operação<sup>197</sup> serão esperados 4 anos de contínua renovação da frota. O investimento para a inserção dos 20 veículos (Dedicados) anuais será equivalente à inserção de 53 veículos Dual Fuel e 37 veículos Ottolisados.

Não será inserida, nesta primeira avaliação de cenário, a variável de custo de infra-estrutura de compressão. Como a condição de contorno é aquela que fixa o preço do gás em 55% do preço do óleo diesel<sup>198</sup> parte-se do princípio de que o custo de compressão esteja incluso de alguma maneira na proposta PETROBRAS.

A tabela 53 traz a conta de combustível diesel, em reais, trazida a valor presente, para a operação em toda a vida útil de apenas um veículo operando com óleo diesel.

Tabela 53: Conta de óleo diesel de um veículo a diesel convencional (R\$/dia)

Número de Veículos Dedicados/ano	20
Capital inicial investido em tecnologia veicular (R\$/ano)	1.600.000,00
Equivalente em veículos convertidos ao Dual Fuel/ano	53,33
Equivalente em veículos convertidos ao Ottolisado/ano	37,21
Dias úteis (d/mês)	26
Rodagem (km/dia)	350
Conta Diesel (R\$/dia)	224,00
Conta Diesel (R\$/Vida útil) - Valor Presente/carro	R\$ 304.203,71 <sup>199</sup>

<sup>197</sup> Meta que justificaria os investimentos em infra-estrutura de compressão e abastecimento interno.

<sup>198</sup> A PETROBRAS, em convênio firmado com o Ministério das Cidades e o Ministério de Minas e Energia, propôs garantir o preço do gás natural para os operadores de transporte de passageiros, em substituição ao óleo diesel, a um preço final não superior a 55% do preço praticado para o óleo diesel. Todavia será adotado, em nossas avaliações, o valor limite desta proposta, a saber: 55% \* R\$ 1,60 = R\$ 0,88 para o m<sup>3</sup> de gás natural (preço final).

<sup>199</sup> Esse valor presente é calculado com o valor diário de combustível equivalente a R\$ 191,47, e não R\$ 224,00. O consumo diário de combustível é distribuído também entre os dias de operação reduzida da frota (sábados, domingos e feriados). São considerados no cálculo do valor presente os 2555 dias dos 7 anos de operação.

Para a obtenção do valor presente da Receita Líquida alcançada pela inserção do gás natural, através das diferentes rotas tecnológicas, em substituição ao diesel, pode-se utilizar a tabela 54 que apresenta os cálculos para os 4 anos de inserção de uma frota total de 80 veículos Dedicados de referência<sup>200</sup>.

Tabela 54: Receita Líquida, em valor presente, na vida útil da frota movida a gás natural adquirida nos 4 primeiros anos de operação.

4.	Dual Fuel	Ottolisação	Dedicado
Número de Veículos/ano	53	37	20
Conta Diesel (R\$/Vida útil) - Valor Presente	16.122.796,44	11.255.537,14	6.084.074,13
Cons. Diesel (l/dia)/carro	35	-	-
Conta Diesel (R\$/dia)/carro	56,00	-	-
Cons. Gás (m3/dia)/carro	105	152	184
Conta Gás (R\$/dia)/carro	92,40	133,91	162,11
Conta Comb. Total (R\$/dia útil)	7.865,20	4.954,78	3.242,11
Conta Comb. Total (R\$/dia comum)	6.723,13	4.235,32	2.771,33
Conta Comb. Total (R\$/Vida útil) - Valor Presente	10.681.462,69	6.728.923,05	4.402.993,74
Economia de Combustível (R\$/Vida útil) - Valor Presente	5.441.333,76	4.526.614,09	1.681.080,39
Economia Vida útil (%) - Valor Presente	34%	40%	28%
<b>1 ANO</b>			
Economia de Combustível (R\$/Vida útil) - Valor Presente	5.441.333,76	4.526.614,09	1.681.080,39
Investimento Inicial - Veicular (R\$)	-1.590.000,00	-1.591.000,00	-1.600.000,00
Manutenção (Vida útil) (R\$) - Valor Presente	-642.131,90	-522.994,22	-1.724.064,79
Custo de Oportunidade da Revenda do Ônibus a Diesel – VP (R\$)	-	-	-488.284,75
Receita Líquida Vida Útil (R\$) - Valor Presente	3.209.201,85	2.412.619,87	-2.131.269,15
<b>2 ANO</b>			
Economia de Combustível (R\$/Vida útil) - Valor Presente	5.441.333,76	4.526.614,09	1.681.080,39
Investimento Inicial - Veicular (R\$)	-1.590.000,00	-1.591.000,00	-1.600.000,00
Manutenção (Vida útil) (R\$) - Valor Presente	-642.131,90	-522.994,22	-1.724.064,79
Custo de Oportunidade da Revenda do Ônibus a Diesel – VP (R\$)	-	-	-488.284,75
Receita Líquida Vida Útil (R\$) - Valor Presente (2 ANO)	3.209.201,85	2.412.619,87	-2.131.269,15
Receita Líquida Vida Útil (R\$) - Valor Presente	2.766.553,32	2.079.844,71	-1.837.300,99
<b>3 ANO</b>			
Economia de Combustível (R\$/Vida útil) - Valor Presente	5.441.333,76	4.526.614,09	1.681.080,39
Investimento Inicial - Veicular (R\$)	-1.590.000,00	-1.591.000,00	-1.600.000,00
Manutenção (Vida útil) (R\$) - Valor Presente	-642.131,90	-522.994,22	-1.724.064,79
Custo de Oportunidade da Revenda do Ônibus a Diesel – VP (R\$)	-	-	-488.284,75
Receita Líquida Vida Útil (R\$) - Valor Presente (3 ANO)	3.209.201,85	2.412.619,87	-2.131.269,15
Receita Líquida Vida Útil (R\$) - Valor Presente	2.384.959,76	1.792.969,58	-1.583.880,17
<b>4 ANO</b>			
	Dual Fuel	Ottolisação	Dedicado

<sup>200</sup> O número de veículos Dual Fuel e Ottolisados equivalentes à entrada de 20 veículos Dedicados referenciais (por ano) é de 53 e 37, respectivamente.

Economia de Combustível (R\$/Vida útil) - Valor Presente	5.441.333,76	4.526.614,09	1.681.080,39
Investimento Inicial - Veicular (R\$)	-1.590.000,00	-1.591.000,00	-1.600.000,00
Manutenção (Vida útil) (R\$) - Valor Presente	-642.131,90	-522.994,22	-1.724.064,79
Custo de Oportunidade da Revenda do Ônibus a Diesel – VP (R\$)	-	-	-488.284,75
Receita Líquida Vida Útil (R\$) - Valor Presente (4 ANO)	3.209.201,85	2.412.619,87	-2.131.269,15
Receita Líquida Vida Útil (R\$) - Valor Presente	2.055.999,79	1.545.663,43	-1.365.413,94
Receita Líquida Vida Útil (R\$) - Valor Presente (FROTA TOTAL)	10.416.714,72	7.831.097,59	-6.917.864,24
Receita Líquida Vida Útil (R\$)/Veículo – VP (FROTA TOTAL)	49.135,00	52.912,00	-86.473,00

A rota tecnologia Dual Fuel foi a que apresentou a maior Receita Líquida, em valor presente, considerando o mesmo investimento inicial feito em ambas as três opções tecnológicas<sup>201</sup>. Todavia, quando se divide o valor da Receita Líquida pelo número de veículos operando com as diferentes opções tecnológicas passa-se a ter a tecnologia de Ottolisação como sendo a mais vantajosa do ponto de vista econômico<sup>202</sup>, seguido de perto pelo veículo Dual Fuel. A rota Dedicada apresenta valores negativos para ambos os tipo de Receita Líquida consideradas.

#### **8.2.3 – Viabilidade com preço do gás a 55% do preço do diesel – inserção de 40 veículos Dedicados / ano**

Este cenário possui as mesmas condições de contorno do cenário anterior, todavia passa-se à inserção de uma frota referencial de ônibus novos Dedicados ao gás natural com a taxa de renovação de frota anual de 10%, equivalente à substituição de 40 veículos/ano. O investimento para inserção de 40 veículos Dedicados/ano é equivalente à inserção de 106 veículos com tecnologia Dual Fuel e 74 veículos com tecnologia de Ottolisação.

<sup>201</sup> O investimento inicial referencial para ambas as rotas tecnológicas foi de R\$ 6.400.000,00, equivalente à entrada de 80 veículos Dedicados.

<sup>202</sup> Vantagem econômica por unidade de veículo operando.

Tabela 55: Receita Líquida, em valor presente, na vida útil da frota movida a gás natural adquirida nos dois primeiros anos de operação.

	Dual Fuel	Ottolisação	Dedicado
Número de Veículos/ano	106	74	40
Conta Diesel (R\$/Vida útil) - Valor Presente	32.245.592,88	22.511.074,28	12.168.148,26
Cons. Diesel (l/dia)/carro	35	-	-
Conta Diesel (R\$/dia)/carro	56,00	-	-
Cons. Gás (m3/dia)/carro	105	152,17	184,21
Conta Gás (R\$/dia)/carro	92,40	133,91	162,11
Conta Comb. Total (R\$/dia útil)	15.730,40	9.909,57	6.484,21
Conta Comb. Total (R\$/dia comum)	13.446,26	8.470,64	5.542,67
Conta Comb. Total (R\$/Vida útil) - Valor Presente	21.362.925,37	13.457.846,09	8.805.987,49
Economia de Combustível (R\$/Vida útil) - Valor Presente	10.882.667,51	9.053.228,18	3.362.160,77
Economia Vida útil (%) - Valor Presente	34%	40%	28%
<b>1 ANO</b>			
Economia de Combustível (R\$/Vida útil) - Valor Presente	10.882.667,51	9.053.228,18	3.362.160,77
Investimento Inicial - Veicular (R\$)	-3.180.000,00	-3.182.000,00	-3.200.000,00
Manutenção (Vida útil) (R\$) - Valor Presente	-1.284.263,81	-1.045.988,45	-3.448.129,57
Custo de Oportunidade da Revenda do Ônibus a Diesel – VP (R\$)	-	-	-976.569,50
Receita Líquida Vida Útil (R\$) - Valor Presente	6.418.403,70	4.825.239,74	-4.262.538,30
<b>2 ANO</b>			
Economia de Combustível (R\$/Vida útil) - Valor Presente	10.882.667,51	9.053.228,18	3.362.160,77
Investimento Inicial - Veicular (R\$)	-3.180.000,00	-3.182.000,00	-3.200.000,00
Manutenção (Vida útil) (R\$) - Valor Presente	-1.284.263,81	-1.045.988,45	-3.448.129,57
Custo de Oportunidade da Revenda do Ônibus a Diesel – VP (R\$)	-	-	-976.569,50
Receita Líquida Vida Útil (R\$) - Valor Presente (2 ANO)	6.418.403,70	4.825.239,74	-4.262.538,30
Receita Líquida Vida Útil (R\$) - Valor Presente	5.533.106,64	4.159.689,43	-3.674.601,98
Receita Líquida Vida Útil (R\$) - Valor Presente (FROTA TOTAL)	11.951.510,35	8.984.929,16	-7.937.140,29
Receita Líquida Vida Útil (R\$)/Veículo – VP (FROTA TOTAL)	56.375,00	60.708,00	-99.214,00

Os resultados aqui são muito próximos dos valores apresentados no cenário anterior. Há uma elevação no valor do retorno econômico de ambas as rotas tecnológicas<sup>203</sup>, motivo esse explicado pela inserção mais rápida de frotas de veículos por ano. Todavia, a inserção de 40 veículos por ano em detrimento de 20 veículos por ano não parece ter um impacto tão significativo no valor final da Receita Líquida Final<sup>204</sup>.

<sup>203</sup> A rota Dual Fuel apresenta maior Receita Líquida e a rota Ottolisada apresenta maior receita líquida/veículo.

<sup>204</sup> A inserção de 106 veículos Dual Fuel por ano significou em um aumento da ordem de 15% na receita líquida da rota Dual Fuel, quando comparado com a inserção de 53 veículos por ano.

## 8.2.4 – Viabilidade com custo de infra-estrutura do Tipo I – inserção de 20 veículos Dedicados / ano

Com a inserção da variável *Custo da Infra-estrutura de Compressão* passa-se ao ponto de se calcular qual será a estimativa média de custo da infra-estrutura por veículo abastecido. Como todos os cenários de inserção de frotas deste capítulo estão considerando o objetivo de inserção de uma frota referencial de 80 veículos Dedicados, temos que o custo unitário veicular de investimento em infra-estrutura de abastecimento é de R\$ 25.000,00 e R\$ 43.750,00 para abastecimento lento (Tipo 1) e abastecimento rápido (Tipo 2), respectivamente<sup>205</sup>.

A inserção de uma frota de 80 veículos Dedicados<sup>206</sup> significará um investimento em tecnologia veicular de R\$6.400.000,00<sup>207</sup>. Soma-se a este investimento inicial o custo com infra-estrutura de compressão. O mais importante a ser compreendido neste cenário, e em todos os próximos cenários que considerarem a inserção da variável *Custo da Infra-estrutura de Compressão*, é que a condição de isonomia de investimento econômico para inserção das rotas tecnológicas Dual Fuel e de Ottolisação, também deverá contemplar o aumento dos investimentos necessários à infra-estrutura de compressão caso o número de veículos inseridos seja superior a 80 veículos (frota referencial de inserção)<sup>208</sup>.

Para a obtenção do valor presente da Receita Líquida alcançada pelas diferentes rotas tecnológicas, em substituição ao diesel, considerando custo com infra-estrutura de abastecimento de R\$ 25.000,00 por veículos e inserção de 20 veículos Dedicados<sup>209</sup> de referência por ano, temos a tabela 56:

<sup>205</sup> O investimento inicial em infra-estrutura de compressão para uma frota de 80 veículos está estimado em 2 milhões de reais para abastecimento lento e 3,5 milhões para abastecimento rápido.

<sup>206</sup> É preciso considerar aqui a taxa de renovação média de frota de uma empresa de ônibus. Se adotada for de 5% ao ano, fala-se de uma inserção anual de 20 veículos Dedicados, o que levará a uma seqüências de inserções anuais que durará 4 anos.

<sup>207</sup> 80 veículos ao custo diferencial de R\$ 80.000,00 por veículo Dedicado inserido.

<sup>208</sup> Para condições equivalentes de investimento inicial (tecnologia veicular e infra-estrutura de abastecimento) tem-se que o número de veículos Dual Fuel inseridos deverá ser de 153 e 134 veículos para abastecimento lento e abastecimento rápido, respectivamente. Para a tecnologia de Ottolisação o número equivalente de veículos deverá ser de 124 e 114 veículos para abastecimento lento e abastecimento rápido, respectivamente. As condições de equivalência estão comparadas com a inserção de uma frota de 80 veículos Dedicados. A metodologia de cálculo dos dados acima pode ser encontrada no Anexo III deste trabalho.

<sup>209</sup> Essa inserção será equivalente à inserção de 38 veículos Dual Fuel e 31 veículos Ottolisados. É preciso se considerar o custo de infra-estrutura de compressão para o cálculo do número de veículos equivalente com rota Dual Fuel e de Ottolisação.

Tabela 56: Receita Líquida, em valor presente, na vida útil da frota movida a gás natural adquirida nos primeiros 4 anos de operação.

	Dual Fuel	Ottolisação	Dedicado
Número de Veículos/ano	38	31	20
Conta Diesel (R\$/Vida útil) - Valor Presente	11.559.740,85	9.430.314,90	6.084.074,13
Cons. Diesel (l/dia)/carro	35	-	-
Conta Diesel (R\$/dia)/carro	56,00	0,00	0,00
Cons. Gás (m3/dia)/carro	105	152.173913	184.2105263
Conta Gás (m3/dia)/carro	54,60	79,13	95,79
Conta Comb. Total (R\$/dia útil)	4.202,80	2.453,04	1.915,79
Conta Comb. Total (R\$/dia comum)	3.592,53	2.096,85	1.637,61
Conta Comb. Total (R\$/Vida útil) - Valor Presente	5.707.680,84	3.331.395,56	2.601.769,03
Economia de Combustível (R\$/Vida útil) - Valor Presente	5.852.060,00	6.098.919,34	3.482.305,10
Economia Vida útil (%) - Valor Presente	50,62%	64,67%	57,24%
<b>ANO 1</b>	<b>Dual Fuel</b>	<b>Ottolisação</b>	<b>Dedicado</b>
Economia de Combustível (R\$/Vida útil) - Valor Presente	5.852.060,00	6.098.919,34	3.482.305,10
Investimento Inicial - Veicular (R\$)	-1.140.000,00	-1.333.000,00	-1.600.000,00
Manutenção (Vida útil) (R\$) - Valor Presente	-460.396,46	-438.184,35	-1.724.064,79
Custo de Oportunidade da Revenda do Ônibus a Diesel – VP (R\$)	0,00	0,00	-488.284,75
Investimento Inicial - Infra-Estrutura (R\$) - Tipo 1	-3.825.000,00	-3.100.000,00	-2.000.000,00
Receita Líquida Vida Útil (R\$) - Valor Presente	426.663,54	1.227.734,99	-2.330.044,44
<b>ANO 2</b>	<b>Dual Fuel</b>	<b>Ottolisação</b>	<b>Dedicado</b>
Economia de Combustível (R\$/Vida útil) - Valor Presente	5.852.060,00	6.098.919,34	3.482.305,10
Investimento Inicial - Veicular (R\$)	-1.140.000,00	-1.333.000,00	-1.600.000,00
Manutenção (Vida útil) (R\$) - Valor Presente	-460.396,46	-438.184,35	-1.724.064,79
Custo de Oportunidade da Revenda do Ônibus a Diesel – VP (R\$)	0,00	0,00	-488.284,75
Investimento Inicial - Infra-Estrutura (R\$) - Tipo 1	0,00	0,00	0,00
Receita Líquida Vida Útil (R\$) - Valor Presente (2 ANO)	4.251.663,54	4.327.734,99	-330.044,44
Receita Líquida Vida Útil (R\$) - Valor Presente	3.665.227,19	3.730.806,02	-284.521,07
<b>ANO 3</b>	<b>Dual Fuel</b>	<b>Ottolisação</b>	<b>Dedicado</b>
Economia de Combustível (R\$/Vida útil) - Valor Presente	5.852.060,00	6.098.919,34	3.482.305,10
Investimento Inicial - Veicular (R\$)	-1.140.000,00	-1.333.000,00	-1.600.000,00
Manutenção (Vida útil) (R\$) - Valor Presente	-460.396,46	-438.184,35	-1.724.064,79
Custo de Oportunidade da Revenda do Ônibus a Diesel – VP (R\$)	0,00	0,00	-488.284,75
Investimento Inicial - Infra-Estrutura (R\$) - Tipo 1	0,00	0,00	0,00
Receita Líquida Vida Útil (R\$) - Valor Presente (3 ANO)	4.251.663,54	4.327.734,99	-330.044,44
Receita Líquida Vida Útil (R\$) - Valor Presente	3.159.678,61	3.216.212,09	-245.276,78
<b>ANO 4</b>	<b>Dual Fuel</b>	<b>Ottolisação</b>	<b>Dedicado</b>
Economia de Combustível (R\$/Vida útil) - Valor Presente	5.852.060,00	6.098.919,34	3.482.305,10
Investimento Inicial - Veicular (R\$)	-1.140.000,00	-1.333.000,00	-1.600.000,00
Manutenção (Vida útil) (R\$) - Valor Presente	-460.396,46	-438.184,35	-1.724.064,79
Custo de Oportunidade da Revenda do Ônibus a Diesel – VP (R\$)	0,00	0,00	-488.284,75
Investimento Inicial - Infra-Estrutura (R\$) - Tipo 1	0,00	0,00	0,00
Receita Líquida Vida Útil (R\$) - Valor Presente (4 ANO)	4.251.663,54	4.327.734,99	-330.044,44
Receita Líquida Vida Útil (R\$) - Valor Presente	2.723.860,87	2.772.596,63	-211.445,50
Receita Líquida Vida Útil (R\$) - Valor Presente (FROTA TOTAL)	9.975.430,22	10.947.349,73	(3.071.287,79)
Receita Líquida Vida Útil (R\$)/Veículo – VP (FROTA TOTAL)	65.627,00	88.285,00	-38.391,00

Com a entrada da variável custo com infra-estrutura de compressão pode-se observar que a rota Ottolisação passa a ser a mais atrativa do ponto de vista econômico, pois tanto a Receita Líquida (Bruta) como a Receita Líquida por veículo inserido são as mais elevadas.

A rota Dual Fuel apresenta-se com o mesmo potencial de retorno econômico que a rota de Ottolisação<sup>210</sup>, perdendo bastante competitividade quando comparadas as Receitas Líquidas por veículo inserido. O número de veículos inseridos com tecnologia Ottolisada é menor que o número de veículos inseridos com tecnologia Dual Fuel, o que diminuiu a competitividade do retorno econômico de um veículo Dual Fuel. Todavia vale aqui o entendimento das vantagens competitivas da rota de Ottolisação sobre a rota Dual Fuel, observados na tabela 56. A rota Dual Fuel trabalha sempre com uma taxa de substituição máxima<sup>211</sup> de gás natural o que significa que o veículo Dual Fuel sempre consumirá óleo diesel, reduzindo assim a competitividade com as rotas dedicadas (100% gás natural).

### 8.2.5 – Viabilidade com custo de infra-estrutura do Tipo I – inserção de 40 veículos Dedicados / ano

Este cenário possui as mesmas condições de contorno do cenário anterior, todavia passa-se à inserção de uma frota referencial de ônibus novos Dedicados ao gás natural com a taxa de renovação de frota anual de 10%, equivalente à substituição de 40 veículos/ano. O investimento para inserção de 40 veículos Dedicados/ano é equivalente à inserção de 76 veículos com tecnologia Dual Fuel e 62 veículos com tecnologia de Ottolisação.

Tabela 57: Receita Líquida, em valor presente, na vida útil da frota movida a gás natural adquirida nos primeiros 2 anos de operação.

	Dual Fuel	Ottolisação	Dedicado
Número de Veículos/ano	76	62	40
Conta Diesel (R\$/Vida útil) - Valor Presente	23.119.481,69	18.860.629,80	12.168.148,26
Cons. Diesel (l/dia)/carro	35	-	-
Conta Diesel (R\$/dia)/carro	56,00	0,00	0,00
Cons. Gás (m3/dia)/carro	105	152	184
Conta Gás (m3/dia)/carro	54,60	79,13	95,79
Conta Comb. Total (R\$/dia útil)	8.405,60	4.906,09	3.831,58
Conta Comb. Total (R\$/dia comum)	7.185,06	4.193,70	3.275,21
Conta Comb. Total (R\$/Vida útil) - Valor Presente	11.415.361,69	6.662.791,13	5.203.538,06
Economia de Combustível (R\$/Vida útil) - Valor Presente	11.704.120,00	12.197.838,68	6.964.610,20
Economia Vida útil (%) - Valor Presente	50,62%	64,67%	57,24%
<b>4.1.1.1. ANO 1</b>		Dual Fuel	Ottolisação
Economia de Combustível (R\$/Vida útil) - Valor Presente	11.704.120,00	12.197.838,68	6.964.610,20
Investimento Inicial - Veicular (R\$)	-2.280.000,00	-2.666.000,00	-3.200.000,00
Manutenção (Vida útil) (R\$) - Valor Presente	-920.792,92	-876.368,70	-3.448.129,57

<sup>210</sup> Comparando Receita Líquida – VP – (FROTA TOTAL)

<sup>211</sup> Neste trabalho foi a dotado a taxa média de substituição de 75%. Vide capítulo 4 - Tecnologia Dual Fuel.

Custo de Oportunidade da Revenda do Ônibus a Diesel – VP (R\$)	0,00	0,00	-976.569,50
Investimento Inicial - Infra-Estrutura (R\$) - Tipo 1	-3.825.000,00	-3.100.000,00	-2.000.000,00
Receita Líquida Vida Útil (R\$) - Valor Presente	4.678.327,08	5.555.469,98	-2.660.088,87
<b>4.1.1.2. ANO 2</b>	<b>Dual Fuel</b>	<b>Ottolisação</b>	<b>Dedicado</b>
Economia de Combustível (R\$/Vida útil) - Valor Presente	11.704.120,00	12.197.838,68	6.964.610,20
Investimento Inicial - Veicular (R\$)	-2.280.000,00	-2.666.000,00	-3.200.000,00
Manutenção (Vida útil) (R\$) - Valor Presente	-920.792,92	-876.368,70	-3.448.129,57
Custo de oportunidade da revenda do ônibus a diesel - VP	0,00	0,00	-976.569,50
Investimento Inicial - Infra-Estrutura (R\$) - Tipo 1	0,00	0,00	0,00
Receita Líquida Vida Útil (R\$) - Valor Presente (2 ANO)	8.503.327,08	8.655.469,98	-660.088,87
Receita Líquida Vida Útil (R\$) - Valor Presente	7.330.454,38	7.461.612,05	-569.042,13
Receita Líquida Vida Útil (R\$) -Valor Presente (FROTA TOTAL)	12.008.781,46	13.017.082,02	(3.229.131,01)
Receita Líquida Vida Útil (R\$)/Veículo – VP (FROTA TOTAL)	79.005,00	104.976,00	-40.364,00

Os resultados aqui são muito próximos dos valores apresentados no cenário anterior. Há uma elevação no valor do retorno econômico de ambas as rotas tecnológicas, motivo esse explicado pela inserção mais “apressada” de frotas de veículos por ano. A inserção de 40 veículos por ano em detrimento de 20 veículos elevou o retorno econômico da rota de Ottolisação em 19%.

A rota tecnológica de Ottolisação apresenta melhor desempenho econômico que as demais opções, sendo seguida de perto da rota Dual Fuel para Receita Líquida (Bruta).

A rota Dedicada continua apresentando retorno econômico negativo (prejuízos).

## 8.2.6 – Viabilidade com custo de infra-estrutura do Tipo II – inserção de 20 veículos Dedicados / ano

Para a obtenção do valor presente da Receita Líquida alcançada pelas diferentes rotas tecnológicas, em substituição ao diesel, considerando custo com infraestrutura de abastecimento de R\$ 43.750,00<sup>212</sup> por veículos e inserção de 20 veículos Dedicados<sup>213</sup> de referência por ano, temos a tabela 58:

<sup>212</sup> Equivalente ao abastecimento rápido (Tipo 2) – R\$ 3.500.000,00 / 80 veículos.

<sup>213</sup> Essa inserção será equivalente à inserção de 33 veículos Dual Fuel e 28 veículos Ottolisados. É preciso se considerar o custo de infra-estrutura de compressão para o cálculo do número de veículos equivalente com rota Dual Fuel e de Ottolisação.

Tabela 58: Receita Líquida, em valor presente, na vida útil da frota movida a gás natural adquirida nos primeiros 4 anos de operação.

	<b>Dual Fuel</b>	<b>Ottolisação</b>	<b>Dedicado</b>
Número de Veículos	33	28	20
Conta Diesel (R\$/Vida útil) - Valor Presente	10.038.722,31	8.517.703,78	6.084.074,13
Cons. Diesel (l/dia)/carro	35	0	0
Conta Diesel (R\$/dia)/carro	56,00	0,00	0,00
Cons. Gás (m3/dia)/carro	105	152.173,91	184.210,52
Conta Gás (m3/dia)/carro	54,60	79,13	95,79
Conta Comb. Total (R\$/dia útil)	3.649,80	2.215,65	1.915,79
Conta Comb. Total (R\$/dia comum)	3.119,83	1.893,93	1.637,61
Conta Comb. Total (R\$/Vida útil) - Valor Presente	4.956.670,21	3.009.002,44	2.601.769,03
Economia de Combustível (R\$/Vida útil) - Valor Presente	5.082.052,11	5.508.701,34	3.482.305,10
Economia Vida útil (%) - Valor Presente	50,62%	64,67%	57,24%
<b>ANO 1</b>			
	<b>Dual Fuel</b>	<b>Ottolisação</b>	<b>Dedicado</b>
Economia de Combustível (R\$/Vida útil) - Valor Presente	5.082.052,11	5.508.701,34	3.482.305,10
Investimento Inicial - Veicular (R\$)	-990.000,00	-1.204.000,00	-1.600.000,00
Manutenção (Vida útil) (R\$) - Valor Presente	-399.817,98	-395.779,41	-1.724.064,79
Custo de Oportunidade da Revenda do Ônibus a Diesel – VP (R\$)	0,00	0,00	-488.284,75
Investimento Inicial - Infra-Estrutura (R\$) - Tipo 2	-5.862.500,00	-4.987.500,00	-3.500.000,00
Receita Líquida Vida Útil (R\$) - Valor Presente	-2.170.265,87	-1.078.578,08	-3.830.044,44
<b>ANO 2</b>			
	<b>Dual Fuel</b>	<b>Ottolisação</b>	<b>Dedicado</b>
Economia de Combustível (R\$/Vida útil) - Valor Presente	5.082.052,11	5.508.701,34	3.482.305,10
Investimento Inicial - Veicular (R\$)	-990.000,00	-1.204.000,00	-1.600.000,00
Manutenção (Vida útil) (R\$) - Valor Presente	-399.817,98	-395.779,41	-1.724.064,79
Custo de oportunidade da revenda do ônibus a diesel - VP	0,00	0,00	-488.284,75
Investimento Inicial - Infra-Estrutura (R\$) - Tipo 2	0,00	0,00	0,00
Receita Líquida Vida Útil (R\$) - Valor Presente (2 ANO)	3.692.234,13	3.908.921,92	-330.044,44
Receita Líquida Vida Útil (R\$) - Valor Presente	3.182.960,46	3.369.760,28	-284.521,07
<b>ANO 3</b>			
	<b>Dual Fuel</b>	<b>Ottolisação</b>	<b>Dedicado</b>
Economia de Combustível (R\$/Vida útil) - Valor Presente	5.082.052,11	5.508.701,34	3.482.305,10
Investimento Inicial - Veicular (R\$)	-990.000,00	-1.204.000,00	-1.600.000,00
Manutenção (Vida útil) (R\$) - Valor Presente	-399.817,98	-395.779,41	-1.724.064,79
Custo de oportunidade da revenda do ônibus a diesel - VP	0,00	0,00	-488.284,75
Investimento Inicial - Infra-Estrutura (R\$) - Tipo 2	0,00	0,00	0,00
Receita Líquida Vida Útil (R\$) - Valor Presente (3 ANO)	3.692.234,13	3.908.921,92	-330.044,44
Receita Líquida Vida Útil (R\$) - Valor Presente	2.743.931,43	2.904.965,76	-245.276,78
Payback (meses)			
<b>ANO 4</b>			
	<b>Dual Fuel</b>	<b>Ottolisação</b>	<b>Dedicado</b>
Economia de Combustível (R\$/Vida útil) - Valor Presente	5.852.060,00	6.098.919,34	3.482.305,10
Investimento Inicial - Veicular (R\$)	-990.000,00	-1.204.000,00	-1.600.000,00
Manutenção (Vida útil) (R\$) - Valor Presente	-399.817,98	-395.779,41	-1.724.064,79
Custo de oportunidade da revenda do ônibus a diesel - VP	0,00	0,00	-488.284,75
Investimento Inicial - Infra-Estrutura (R\$) - Tipo 2	0,00	0,00	0,00
Receita Líquida Vida Útil (R\$) - Valor Presente (4 ANO)	3.692.234,13	3.908.921,92	-330.044,44
Receita Líquida Vida Útil (R\$) - Valor Presente	2.365.458,13	2.504.280,83	-211.445,50
Receita Líquida Vida Útil (R\$) - Valor Presente (FROTA TOTAL)	6.122.084,14	7.700.428,79	-4.571.287,79
Receita Líquida Vida Útil (R\$)/Veículo – VP (FROTA TOTAL)	43.379,00	68.753,00	-57.141,00

A rota Dual Fuel apresenta-se com o mesmo potencial de retorno econômico que a rota de Ottolisação<sup>214</sup>, perdendo bastante competitividade quando comparadas as Receitas Líquidas por veículo inserido<sup>215</sup>. O número de veículos inseridos com tecnologia Ottolisado é menor que o número de veículos inseridos com tecnologia Dual Fuel, o que diminuiu a competitividade do retorno econômico de um veículo Dual Fuel. A rota Dedicada continuou apresentando retorno econômico negativo (prejuízos).

### 8.2.7 – Viabilidade com custo de infra-estrutura do tipo II – inserção de 40 veículos Dedicados / ano

Este cenário possui as mesmas condições de contorno do cenário anterior, todavia passa-se à inserção de uma frota referencial de ônibus novos Dedicados ao gás natural com a taxa de renovação de frota anual de 10%, equivalente à substituição de 40 veículos/ano. O investimento para inserção de 40 veículos Dedicados/ano é equivalente à inserção de 67 veículos com tecnologia Dual Fuel e 57 veículos com tecnologia de Ottolisação.

Tabela 59: Lucro líquido, em valor presente, na vida útil da frota movida a gás natural adquirida nos primeiros 2 anos de operação.

	<b>Dual Fuel</b>	<b>Ottolisação</b>	<b>Dedicado</b>
Número de Veículos/ano	67	57	40
Conta Diesel (R\$/Vida útil) - Valor Presente	20.381.648,33	17.339.611,27	12.168.148,26
Cons. Diesel (l/dia)/carro	35	0	0
Conta Diesel (R\$/dia)/carro	56,00	0,00	0,00
Cons. Gás (m3/dia)/carro	105	152.173913	184.2105263
Conta Gás (m3/dia)/carro	54,60	79,13	95,79
Conta Comb. Total (R\$/dia útil)	7.410,20	4.510,43	3.831,58
Conta Comb. Total (R\$/dia comum)	6.334,20	3.855,49	3.275,21
Conta Comb. Total (R\$/Vida útil) - Valor Presente	10.063.542,54	6.125.469,26	5.203.538,06
Economia de Combustível (R\$/Vida útil) - Valor Presente	10.318.105,79	11.214.142,01	6.964.610,20
Economia Vida útil (%) - Valor Presente	50,62%	64,67%	57,24%
<b>ANO 1</b>	<b>Dual Fuel</b>	<b>Ottolisação</b>	<b>Dedicado</b>
Economia de Combustível (R\$/Vida útil) - Valor Presente	10.318.105,79	11.214.142,01	6.964.610,20
Investimento Inicial - Veicular (R\$)	-2.010.000,00	-2.451.000,00	-3.200.000,00
Manutenção (Vida útil) (R\$) - Valor Presente	-811.751,65	-805.693,80	-3.448.129,57
Custo de oportunidade da revenda do ônibus a diesel - VP	0,00	0,00	-976.569,50
Investimento Inicial - Infra-Estrutura (R\$) - Tipo 2	-5.862.500,00	-4.987.500,00	-3.500.000,00
Receita Líquida Vida Útil (R\$) - Valor Presente	1.633.854,14	2.969.948,20	-4.160.088,87
<b>ANO 2</b>	<b>Dual Fuel</b>	<b>Ottolisação</b>	<b>Dedicado</b>
Economia de Combustível (R\$/Vida útil) - Valor Presente	10.318.105,79	11.214.142,01	6.964.610,20
Investimento Inicial - Veicular (R\$)	-2.010.000,00	-2.451.000,00	-3.200.000,00
Manutenção (Vida útil) (R\$) - Valor Presente	-811.751,65	-805.693,80	-3.448.129,57
Custo de oportunidade da revenda do ônibus a diesel - VP	0,00	0,00	-976.569,50
Investimento Inicial - Infra-Estrutura (R\$) - Tipo 2	0,00	0,00	0,00

<sup>214</sup> Comparando Receita Líquida – VP – (FROTA TOTAL)

<sup>215</sup> Tal qual os cenários 8.2.4 e 8.2.5

Receita Líquida Vida Útil (R\$) - Valor Presente (2 ANO)	7.496.354,14	7.957.448,20	-660.088,87
Receita Líquida Vida Útil (R\$) - Valor Presente	6.462.374,26	6.859.869,14	-569.042,13
Receita Líquida Vida Útil (R\$) -Valor Presente (FROTA TOTAL)	8.096.228,40	9.829.817,34	-4.729.131,01
Receita Líquida Vida Útil (R\$)/Veículo – VP (FROTA TOTAL)	60.419,00	86.226,00	-59.114,00

Os resultados aqui são muito próximos dos valores apresentados no cenário anterior. Há uma elevação pequena no valor ro retorno econômico de ambas as rotas tecnológicas, motivo esse explicado pela inserção mais rápida de frotas de veículos por ano. A inserção de 40 veículos por ano em detrimento de 20 veículos elevou o retorno econômico da rota de Ottolisação em 27,7%. Aqui cabe uma explicação importante para o aumento tão significativo da Receita Líquida dos dois cenários anteriores comparados. Por simplificação da metodologia de cálculo, a inserção do custo com infra-estrutura de abastecimento e compressão é contabilizada direta e integralmente no primeiro ano de inserção de frotas. Sendo assim haverá ociosidade de parte da infra-estrutura de compressão principalmente no cenário que considera a inserção de 20 veículos Dedicados de referência por ano.

A rota tecnológica de Ottolisação apresenta melhor desempenho econômico que as demais opções, sendo seguida de perto da rota Dual Fuel para Receita Líquida (Bruta).

A rota Dedicada continua apresentando retorno econômico negativo (prejuízos).

#### **8.2.8 – Viabilidade com custo do serviço de compressão – inserção de 20 veículos Dedicados / ano**

O cenário para inserção de frotas considerando o Custo do Serviço de Compressão<sup>216</sup> passa a retirar a variável Custo Com Infra-Estrutura de Compressão. Ao custo de referência do gás natural comercializado pela CEG (R\$ 0,52 / m<sup>3</sup>) acrescentou-se R\$0,28 / m<sup>3</sup> <sup>217</sup> de margem do serviço de compressão (incluindo energia elétrica), chegando a um preço final do gás natural de R\$ 0,80 / m<sup>3</sup>. A tabela

<sup>216</sup> Existem empresas no mercado de gás natural especializadas em prestar serviço de compressão de gás natural. Elas podem instalar todos os equipamentos dentro da garagem e ficar apenas com uma margem do preço final do gás natural. Vide capítulo 7.

<sup>217</sup> Valor médio do serviço de compressão cobrado no mercado, já incluso custo com energia elétrica.

60 apresenta a comparação do desempenho econômico das diferentes opções tecnológicas para este cenário proposto. Os 20 veículos Dedicados inseridos anualmente serão equivalentes a 53 veículos Dual Fuel e 37 veículos Ottolisados, inseridos também anualmente.

Tabela 60: Receita Líquida, em valor presente, na vida útil da frota movida a gás natural adquirida nos primeiros 4 anos de operação.

	<b>Dual Fuel</b>	<b>Ottolisação</b>	<b>Dedicado</b>
Número de Veículos/ANO	53	37	20
Conta Diesel (R\$/Vida útil) - Valor Presente	16.122.796,44	11.255.537,14	6.084.074,13
Cons. Diesel (l/dia)/carro	35	0	0
Conta Diesel (l/dia)/carro	56,00	0,00	0,00
Cons. Gás (m3/dia)/carro	105	152.173913	184.2105263
Conta Gás (m3/dia)/carro	84,00	121,74	147,37
Conta Comb. Total (R\$/dia útil)	7.420,00	4.504,35	2.947,37
Conta Comb. Total (R\$/dia comum)	6.342,58	3.850,29	2.519,39
Conta Comb. Total (R\$/Vida útil) - Valor Presente	10.076.851,59	6.117.202,77	4.002.721,58
Economia de Combustível (R\$/Vida útil) - Valor Presente	6.045.944,85	5.138.334,37	2.081.352,54
Economia Vida útil (%) - Valor Presente	37,50%	45,65%	34,21%
<b>ANO 1</b>	<b>Dual Fuel</b>	<b>Ottolisação</b>	<b>Dedicado</b>
Economia de Combustível (R\$/Vida útil) - Valor Presente	6.045.944,85	5.138.334,37	2.081.352,54
Investimento Inicial - Veicular (R\$)	-1.590.000,00	-1.591.000,00	-1.600.000,00
Manutenção (Vida útil) (R\$) - Valor Presente	-642.131,90	-522.994,22	-1.724.064,79
Custo de oportunidade da revenda do ônibus a diesel - VP	0,00	0,00	(488.284,75)
Receita Líquida Vida Útil (R\$) - Valor Presente	3.813.812,95	3.024.340,14	-1.730.996,99
<b>ANO 2</b>	<b>Dual Fuel</b>	<b>Ottolisação</b>	<b>Dedicado</b>
Economia de Combustível (R\$/Vida útil) - Valor Presente	6.045.944,85	5.138.334,37	2.081.352,54
Investimento Inicial - Veicular (R\$)	-1.590.000,00	-1.591.000,00	-1.600.000,00
Manutenção (Vida útil) (R\$) - Valor Presente	-642.131,90	-522.994,22	-1.724.064,79
Custo de oportunidade da revenda do ônibus a diesel - VP	0,00	0,00	-488.284,75
Receita Líquida Vida Útil (R\$) - Valor Presente (2 ANO)	3.813.812,95	3.024.340,14	-1.730.996,99
Receita Líquida Vida Útil (R\$) - Valor Presente	3.287.769,78	2.607.189,78	-1.492.238,79
<b>ANO 3</b>	<b>Dual Fuel</b>	<b>Ottolisação</b>	<b>Dedicado</b>
Economia de Combustível (R\$/Vida útil) - Valor Presente	6.045.944,85	5.138.334,37	2.081.352,54
Investimento Inicial - Veicular (R\$)	-1.590.000,00	-1.591.000,00	-1.600.000,00
Manutenção (Vida útil) (R\$) - Valor Presente	-642.131,90	-522.994,22	-1.724.064,79
Custo de oportunidade da revenda do ônibus a diesel - VP	0,00	0,00	-488.284,75
Receita Líquida Vida Útil (R\$) - Valor Presente (3 ANO)	3.813.812,95	3.024.340,14	-1.730.996,99
Receita Líquida Vida Útil (R\$) - Valor Presente	2.834.284,30	2.247.577,40	-1.286.412,75
<b>ANO 4</b>	<b>Dual Fuel</b>	<b>Ottolisação</b>	<b>Dedicado</b>
Economia de Combustível (R\$/Vida útil) - Valor Presente	6.045.944,85	5.138.334,37	2.081.352,54
Investimento Inicial - Veicular (R\$)	-1.590.000,00	-1.591.000,00	-1.600.000,00
Manutenção (Vida útil) (R\$) - Valor Presente	-642.131,90	-522.994,22	-1.724.064,79
Custo de oportunidade da revenda do ônibus a diesel - VP	0,00	0,00	-488.284,75
Receita Líquida Vida Útil (R\$) - Valor Presente (4 ANO)	3.813.812,95	3.024.340,14	-1.730.996,99
Receita Líquida Vida Útil (R\$) - Valor Presente	2.443.348,53	1.937.566,72	-1.108.976,51
Receita Líquida Vida Útil (R\$) -Valor Presente (FROTA TOTAL)	12.379.215,56	9.816.674,04	-5.618.625,03
Receita Líquida Vida Útil (R\$)/Veículo – VP (FROTA TOTAL)	58.392,00	66.328,00	-70.232,00

A rota Dual Fuel apresenta-se com maior potencial de retorno econômico que a rota de Ottolisação<sup>218</sup>, perdendo alguma competitividade quando comparadas as Receitas Líquidas por veículo inserido. A rota Dedicada continuou apresentando retorno econômico negativo (prejuízos).

### 8.2.9 – Viabilidade com custo do serviço de compressão – inserção de 40 veículos Dedicados / ano

Este cenário possui as mesmas condições de contorno do cenário anterior, todavia passa-se à inserção de uma frota referencial de ônibus novos Dedicados ao gás natural com a taxa de renovação de frota anual de 10%, equivalente à substituição de 40 veículos/ano. O investimento para inserção de 40 veículos Dedicados/ano é equivalente à inserção de 106 veículos com tecnologia Dual Fuel e 74 veículos com tecnologia de Ottolisação.

Tabela 61: Lucro líquido, em valor presente, na vida útil da frota movida a gás natural adquirida nos primeiros 2 anos de operação.

	<b>Dual Fuel</b>	<b>Ottolisação</b>	<b>Dedicado</b>
Número de Veículos	106	74	40
Conta Diesel (R\$/Vida útil) - Valor Presente	32.245.592,88	22.511.074,28	12.168.148,26
Cons. Diesel (l/dia)/carro	35	-	-
Conta Diesel (l/dia)/carro	56,00	0,00	0,00
Cons. Gás (m3/dia)/carro	105	152	184
Conta Gás (m3/dia)/carro	84,00	121,74	147,37
Conta Comb. Total (R\$/dia útil)	14.840,00	9.008,70	5.894,74
Conta Comb. Total (R\$/dia comum)	12.685,15	7.700,58	5.038,79
Conta Comb. Total (R\$/Vida útil) - Valor Presente	20.153.703,18	12.234.405,54	8.005.443,17
Economia de Combustível (R\$/Vida útil) - Valor Presente	12.091.889,70	10.276.668,74	4.162.705,09
Economia Vida útil (%) - Valor Presente	37,50%	45,65%	34,21%
<b>ANO 1</b>	<b>Dual Fuel</b>	<b>Ottolisação</b>	<b>Dedicado</b>
Economia de Combustível (R\$/Vida útil) - Valor Presente	12.091.889,70	10.276.668,74	4.162.705,09
Investimento Inicial - Veicular (R\$)	-3.180.000,00	-3.182.000,00	-3.200.000,00
Manutenção (Vida útil) (R\$) - Valor Presente	-1.284.263,81	-1.045.988,45	-3.448.129,57
Custo de oportunidade da revenda do ônibus a diesel - VP	0,00	0,00	-976.569,50
Receita Líquida Vida Útil (R\$) - Valor Presente	7.627.625,89	6.048.680,29	-3.461.993,98
<b>ANO 2</b>	<b>Dual Fuel</b>	<b>Ottolisação</b>	<b>Dedicado</b>
Economia de Combustível (R\$/Vida útil) - Valor Presente	12.091.889,70	10.276.668,74	4.162.705,09
Investimento Inicial - Veicular (R\$)	-3.180.000,00	-3.182.000,00	-3.200.000,00
Manutenção (Vida útil) (R\$) - Valor Presente	-1.284.263,81	-1.045.988,45	-3.448.129,57
Custo de oportunidade da revenda do ônibus a diesel - VP	0,00	0,00	-976.569,50
Receita Líquida Vida Útil (R\$) - Valor Presente (2 ANO)	7.627.625,89	6.048.680,29	-3.461.993,98
Receita Líquida Vida Útil (R\$) - Valor Presente	6.575.539,56	5.214.379,56	-2.984.477,57
Receita Líquida Vida Útil (R\$) - Valor Presente (FROTA TOTAL)	14.203.165,46	11.263.059,85	-6.446.471,56
Receita Líquida Vida Útil (R\$)/Veículo – VP (FROTA TOTAL)	66.996,00	76.101,00	-80.580,00

<sup>218</sup> Comparando Receita Líquida – VP – (FROTA TOTAL)

A rota Dual Fuel continua apresentando maior potencial de retorno econômico que a rota de Ottolisação<sup>219</sup>, perdendo competitividade quando comparadas as Receitas Líquidas por veículo inserido. A rota Dedicada continuou apresentando retorno econômico negativo (prejuízos).

O aumento do retorno econômico com a inserção de 40 veículos/ ano voltou a ser de 15%<sup>220</sup>, uma vez que não foi considerada a inserção da variável Custo com Infra-estrutura de Compressão.

---

<sup>219</sup> Comparando Receita Líquida – VP – (FROTA TOTAL)

<sup>220</sup> Vide item 8.2.3

### 8.3 – Análises de sensibilidade para as tecnologias

A análise de sensibilidade avalia as possíveis variações relacionadas aos parâmetros de influência da viabilidade econômica das diferentes tecnologias veiculares disponíveis para o uso do gás natural em ônibus. As principais variáveis de influência foram escolhidas e serão apresentadas nas tabelas abaixo. Todas as variáveis de influência foram consideradas com variações de -40%, -20%, +20% e +40% .

Com o objetivo de se considerar uma condição comum, e de referência, nesta análise de sensibilidade, utilizou-se um cenário de viabilidade escolhido segundo o critério da máxima viabilidade econômica. Sendo assim, ficou estabelecido como referencial o cenário com gás natural sendo fornecido pela CEG (R\$ 0,52/m<sup>3</sup>), infraestrutura de abastecimento lento (R\$ 2.000.000,00), e substituição anual de 40 veículos. O critério utilizado para a escolha deste cenário de máxima viabilidade econômica foi a soma dos valores das receitas líquidas em valor presente para as três rotas tecnológicas consideradas<sup>221</sup>.

#### 8.3.1 – Tecnologia Dual Fuel

A tabela 62 apresenta a variação da Receita Líquida - VP em relação à variação dos níveis das variáveis de influência. As variáveis de influência escolhidas para a análise de sensibilidade de ambas as rotas tecnológicas foram: preço do gás natural fornecido diretamente pela distribuidora (CEG), custo de manutenção dos veículos a gás natural<sup>222</sup>, custo com infra-estrutura de compressão, custo com investimento em tecnologia veicular para um veículo a gás, taxa de juros, autonomia em km/dia, rendimento energético em km/m<sup>3</sup>, anos de uso - vida útil e preço final do diesel. Os dados da tabela estão plotados no gráfico da figura 52.

---

<sup>221</sup> Cenário 8.2.5.

<sup>222</sup> Considera-se aqui o diferencial do custo de manutenção do veículo movido a gás natural em relação a um veículo do ciclo diesel convencional.

Tabela 62: Tabela dos níveis de sensibilidade das principais variáveis de influência para a economicidade dos veículos Dual Fuel.

SENSIBILIDADE	60%	80%	100%	120%	140%
<b>\$ Gás</b>	<b>0,312</b>	<b>0,416</b>	<b>0,520</b>	<b>0,624</b>	<b>0,728</b>
Receita Líquida – VP (R\$)	16.206.000,00	14.108.000,00	12.009.000,00	9.910.000,00	7.812.000,00
<b>\$ Manutenção (R\$)</b>	<b>7.269,42</b>	<b>9.692,56</b>	<b>12.115,70</b>	<b>14.538,84</b>	<b>16.961,97</b>
Receita Líquida – VP (R\$)	12.695.000,00	12.352.000,00	12.009.000,00	11.666.000,00	11.323.000,00
<b>\$ Infra-estrutura/veículo (R\$)</b>	<b>15.000,00</b>	<b>20.000,00</b>	<b>25.000,00</b>	<b>30.000,00</b>	<b>35.000,00</b>
Receita Líquida – VP (R\$)	13.539.000,00	12.774.000,00	12.009.000,00	11.224.000,00	10.479.000,00
<b>\$ Veicular (R\$)</b>	<b>18.000,00</b>	<b>24.000,00</b>	<b>30.000,00</b>	<b>36.000,00</b>	<b>42.000,00</b>
Receita Líquida – VP (R\$)	13.707.000,00	12.858.000,00	12.009.000,00	11.160.000,00	10.311.000,00
<b>Tx Juros (ano)</b>	<b>0,096</b>	<b>0,128</b>	<b>0,16</b>	<b>0,192</b>	<b>0,224</b>
Receita Líquida – VP (R\$)	16.080.000,00	13.891.000,00	12.009.000,00	10.381.000,00	8.963.000,00
<b>Km / dia</b>	<b>210</b>	<b>280</b>	<b>350</b>	<b>420</b>	<b>490</b>
Receita Líquida – VP (R\$)	3.291.000,00	7.650.000,00	12.009.000,00	16.368.000,00	20.727.000,00
<b>Rendimento Energético (km/m<sup>3</sup>)</b>	<b>1,5</b>	<b>2</b>	<b>2,5</b>	<b>3</b>	<b>3,5</b>
Receita Líquida – VP (R\$)	-2.162.000,00	6.695.000,00	12.009.000,00	15.552.000,00	18.082.000,00
<b>Anos de Uso</b>	<b>4,2</b>	<b>5,6</b>	<b>7</b>	<b>8,4</b>	<b>9,8</b>
Receita Líquida – VP (R\$)	5.855.000,00	9.251.000,00	12.009.000,00	14.241.000,00	16.062.000,00
<b>\$ Diesel (R\$)</b>	<b>0,96</b>	<b>1,28</b>	<b>1,6</b>	<b>1,92</b>	<b>2,24</b>
Receita Líquida – VP (R\$)	-906.000,00	5.552.000,00	12.009.000,00	18.467.000,00	24.924.000,00

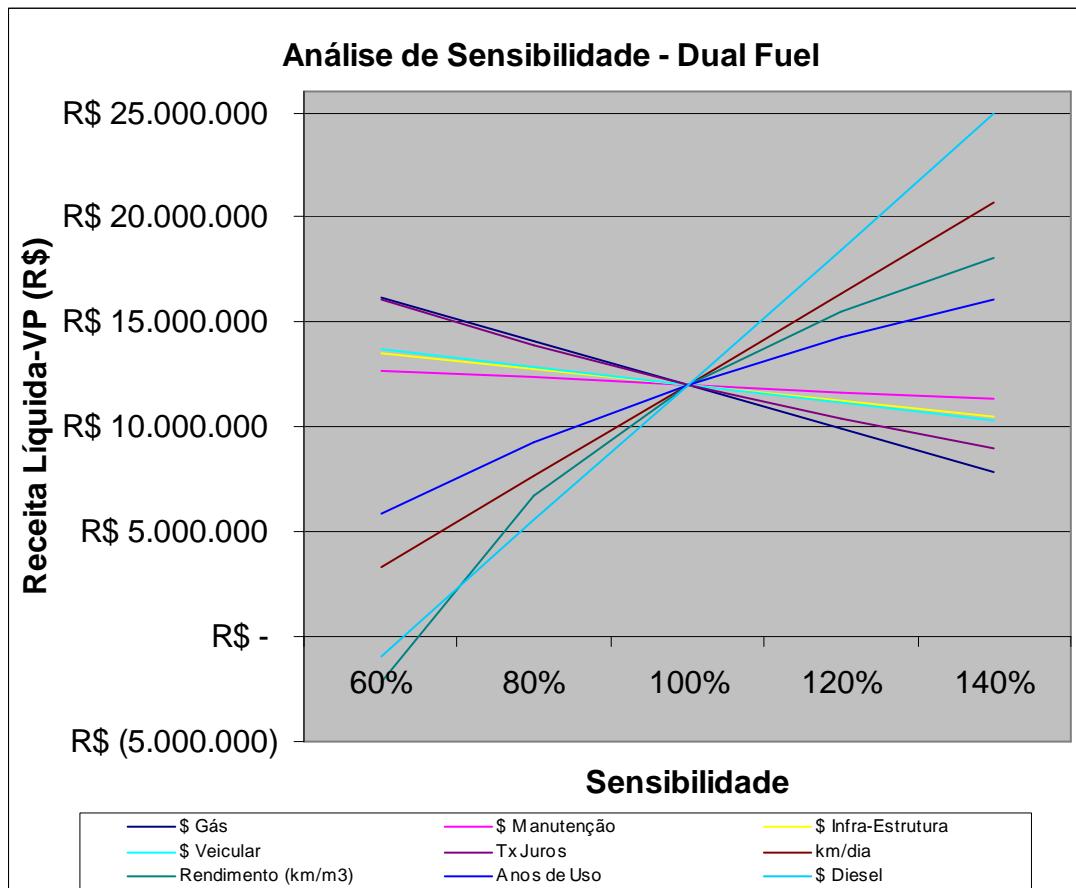


Figura 52 : Análise de sensibilidade para os veículos Dual Fuel.

Para a rota tecnológica Dual Fuel existe viabilidade econômica em praticamente todos os níveis de sensibilidade aplicados, para todas as variáveis de influência consideradas<sup>223</sup>. Pode-se observar que o nível de sensibilidade da Receita Líquida – VP possui diferentes níveis de inclinação, para cada uma das variáveis de influência. Os coeficientes de inclinação das curvas de sensibilidades podem sinalizar a importância de cada uma das variáveis, quando analisadas separadamente. Desta forma, na tabela 63 indica-se quais das variáveis, em suas variações de níveis, possuem maior ou menor influência sobre o retorno econômico da rota Dual Fuel. A tabela também apresentará quais das variáveis são diretamente proporcionais à Receita Líquida – VP.

Tabela 63: Variáveis diretamente proporcionais à Receita Líquida - VP e variáveis mais importantes do ponto de vista da sensibilidade – Dual Fuel.

VARIÁVEIS MAIS IMPORTANTES <sup>224</sup>	COEFICIENTE DE INCLINAÇÃO	CORRELAÇÃO
1-) \$ Diesel	322.900	POSITIVA
2-) Km / m <sup>3</sup> <sup>225</sup>	253.050	POSITIVA
3-) Km / dia	217.950	POSITIVA
4-) Anos de Uso <sup>226</sup>	127.587	POSITIVA
5-) \$ Gás	-104.900	NEGATIVA
6-) Tx Juros <sup>227</sup>	-88.962	NEGATIVA
7-) \$ Veicular	-42450	NEGATIVA
8-) \$ Infra-estrutura	-38.250	NEGATIVA
9-) \$ Manutenção	-17.150	NEGATIVA

Como pode se observar, a variável que mais tem influência sobre o retorno econômico quando da substituição do óleo diesel por gás natural em coletivos urbanos, através da tecnologia Dual Fuel, é o próprio preço do óleo diesel. É a esta variável que a Receita Líquida – VP se faz mais sensível seguida das autonomias em km/m<sup>3</sup> e km/dia. O preço do gás natural ocupa a 5<sup>a</sup> colocação em impacto sobre o retorno econômico. As variáveis que menos impactam a Receita Líquida foram: custo de manutenção, custo com infra-estrutura e custo com investimento veicular. Todas essas conclusões estão aplicadas à sensibilidade do retorno econômico para a tecnologia Dual Fuel.

<sup>223</sup> A exceção é para óleo diesel ao nível de 60% do valor de referência e do rendimento (km/m<sup>3</sup>) também ao nível de 60% do valor de referência. Para todos os outros níveis apresentados há viabilidade econômica da rota Dual Fuel, considerando a variação individual dos níveis de cada uma das variáveis de influência.

<sup>224</sup> O conceito de variável mais importante explica-se pela maior sensibilidade da Receita Líquida – VP a esta variável. Estão listadas em ordem de importância. O critério não é o maior valor do coeficiente de inclinação e sim o maior valor do módulo do coeficiente de inclinação, o qual indica o nível de sensibilidade da Receita Líquida – VP.

<sup>225</sup> A inclinação é calculada com valor médio. O gráfico não é uma reta.

<sup>226</sup> A inclinação é calculada com valor médio. O gráfico não é uma reta.

<sup>227</sup> A inclinação é calculada com valor médio. O gráfico não é uma reta.

### 8.3.2 – Tecnologia de Ottolisação

Aplica-se a esta análise os mesmos princípios utilizados na análise de sensibilidade da rota tecnológica anterior.

A tabela 64 apresenta a variação da Receita Líquida - VP em relação à variação dos níveis das variáveis de influência. Os dados da tabela estão plotados no gráfico da figura 53.

Tabela 64: Tabela dos níveis de sensibilidade das principais variáveis de influência para a economicidade dos veículos Ottolisados.

<b>SENSIBILIDADE</b>	<b>60%</b>	<b>80%</b>	<b>100%</b>	<b>120%</b>	<b>140%</b>
<b>\$ Gás</b>	<b>0,312</b>	<b>0,416</b>	<b>0,520</b>	<b>0,624</b>	<b>0,728</b>
Receita Líquida – VP (R\$)	17.980.000,00	15.499.000,00	13.017.000,00	10.536.000,00	8.055.000,00
<b>\$ Manutenção (R\$)</b>	<b>8.480,99</b>	<b>11.307,98</b>	<b>14.134,98</b>	<b>16.961,97</b>	<b>19.788,97</b>
Receita Líquida – VP (R\$)	13.670.000,00	13.343.000,00	13.017.000,00	12.691.000,00	12.365.000,00
<b>\$ Infra-estrutura/veículo (R\$)</b>	<b>15.000,00</b>	<b>20.000,00</b>	<b>25.000,00</b>	<b>30.000,00</b>	<b>35.000,00</b>
Receita Líquida – VP (R\$)	14.257.000,00	13.637.000,00	13.017.000,00	12.397.000,00	11.777.000,00
<b>\$ Veicular (R\$)</b>	<b>25.800,00</b>	<b>34.400,00</b>	<b>43.000,00</b>	<b>51.600,00</b>	<b>60.200,00</b>
Receita Líquida – VP (R\$)	15.003.000,00	14.010.000,00	13.017.000,00	12.024.000,00	11.031.000,00
<b>Tx Juros (ano)</b>	<b>0,096</b>	<b>0,128</b>	<b>0,16</b>	<b>0,192</b>	<b>0,224</b>
Receita Líquida – VP (R\$)	17.260.000,00	14.979.000,00	13.017.000,00	11.320.000,00	9.843.000,00
<b>Km / dia</b>	<b>210</b>	<b>280</b>	<b>350</b>	<b>420</b>	<b>490</b>
Receita Líquida – VP (R\$)	3.932.000,00	8.475.000,00	13.017.000,00	17.560.000,00	22.103.000,00
<b>Rendimento Energético (km/m<sup>3</sup>)</b>	<b>1,38</b>	<b>1,84</b>	<b>2,3</b>	<b>2,76</b>	<b>3,22</b>
Receita Líquida – VP (R\$)	4.746.000,00	9.916.000,00	13.017.000,00	15.085.000,00	16.562.000,00
<b>Anos de Uso</b>	<b>4,2</b>	<b>5,6</b>	<b>7</b>	<b>8,4</b>	<b>9,8</b>
Receita Líquida – VP (R\$)	6.604.000,00	10.143.000,00	13.017.000,00	15.343.000,00	17.241.000,00
<b>\$ Diesel (R\$)</b>	<b>0,96</b>	<b>1,28</b>	<b>1,6</b>	<b>1,92</b>	<b>2,24</b>
Receita Líquida – VP (R\$)	-1.031.000,00	5.993.000,00	13.017.000,00	20.041.000,00	27.066.000,00

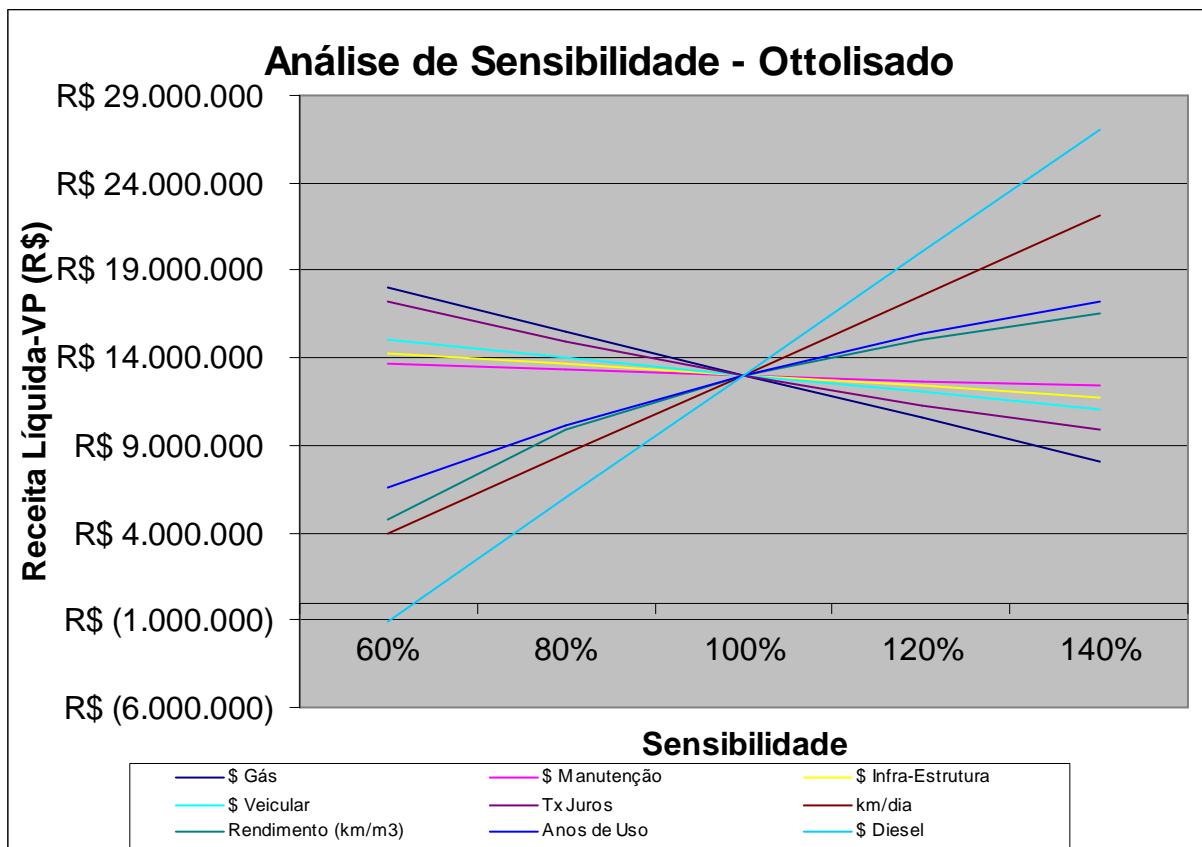


Figura 53: Análise de sensibilidade para os veículos Ottolisados.

Para a rota tecnológica de Ottolisado existe viabilidade econômica em praticamente todos os níveis de sensibilidade aplicados, para todas as variáveis de influência consideradas<sup>228</sup>. Na tabela 65 indica-se quais das variáveis, em suas variações de níveis, possuem maior ou menor influência sobre o retorno econômico da rota Ottolisada. A tabela também apresentará quais das variáveis são diretamente proporcionais à Receita Líquida – VP.

<sup>228</sup> A exceção é para óleo diesel ao nível de 60% do valor de referência. Para todos os outros níveis apresentados há viabilidade econômica da rota Dual Fuel, considerando a variação individual dos níveis de cada uma das variáveis de influência.

Tabela 65: Variáveis diretamente proporcionais à Receita Líquida - VP e variáveis mais importantes do ponto de vista da sensibilidade – Ottolisação.

VARIÁVEIS MAIS IMPORTANTES <sup>229</sup>	COEFICIENTE DE INCLINAÇÃO	CORRELAÇÃO
1-) \$ Diesel	351.200	POSITIVA
2-) Km / dia	227.150	POSITIVA
3-) Km / m <sup>3</sup> <sup>230</sup>	147.700	POSITIVA
4-) Anos de Uso <sup>231</sup>	132.962	POSITIVA
5-) \$ Gás	-124.050	NEGATIVA
6-) Tx Juros <sup>232</sup>	-92.712	NEGATIVA
7-) \$ Veicular	-49.650	NEGATIVA
8-) \$ Infra-estrutura	-31.000	NEGATIVA
9-) \$ Manutenção	-16.350	NEGATIVA

Como pode se observar, a variável que mais tem influência sobre o retorno econômico quando da substituição do óleo diesel por natural em coletivos urbanos, através da tecnologia de Ottolisação, é, também, o próprio preço do óleo diesel. É a esta variável que a Receita Líquida – VP se faz mais sensível, seguida das autonomias em km/dia e km/m<sup>3</sup>. O preço do gás natural ocupa a 5<sup>a</sup> colocação em importância. As variáveis que menos impactam a Receita Líquida foram: custo de manutenção, custo com infra-estrutura e custo com investimento veicular. Todas essas conclusões estão aplicadas à sensibilidade do retorno econômico para a tecnologia de Ottolisação.

### 8.3.3 – Tecnologia Dedicada

Aplicam-se a esta análise os mesmos princípios utilizados na análise de sensibilidade das rotas tecnológicas anteriores.

A tabela 66 apresenta a variação da Receita Líquida - VP em relação à variação dos níveis das variáveis de influência. Os dados da tabela estão plotados no gráfico da figura 54.

<sup>229</sup> O conceito de variável mais importante explica-se pela maior sensibilidade da Receita Líquida – VP a esta variável. Estão listadas em ordem de importância. O critério não é o maior valor do coeficiente de inclinação e sim o maior valor do módulo do coeficiente de inclinação, o qual indica o nível de sensibilidade da Receita Líquida – VP.

<sup>230</sup> A inclinação é calculada com valor médio. O gráfico não é uma reta.

<sup>231</sup> A inclinação é calculada com valor médio. O gráfico não é uma reta.

<sup>232</sup> A inclinação é calculada com valor médio. O gráfico não é uma reta.

Tabela 66: Tabela dos níveis de sensibilidade das principais variáveis de influência para a economicidade dos veículos Dedicados.

SENSIBILIDADE	60%	80%	100%	120%	140%
<b>\$ Gás</b>	<b>0,312</b>	<b>0,416</b>	<b>0,52</b>	<b>0,624</b>	<b>0,728</b>
Receita Líquida – VP (R\$)	647.000,00	-1.291.000,00	-3.229.000,00	-5.167.000,00	-7.105.000,00
<b>\$ Manutenção (R\$)</b>	<b>51.721,94</b>	<b>68.962,59</b>	<b>86.203,24</b>	<b>103.443,89</b>	<b>120.684,53</b>
Receita Líquida – VP (R\$)	-661.000,00	-1.945.000,00	-3.229.000,00	-4.513.000,00	-5.797.000,00
<b>\$ Infra-estrutura/veículo (R\$)</b>	<b>15.000,00</b>	<b>20.000,00</b>	<b>25.000,00</b>	<b>30.000,00</b>	<b>35.000,00</b>
Receita Líquida – VP (R\$)	-2.429.000,00	-2.829.000,00	-3.229.000,00	-3.629.000,00	-4.029.000,00
<b>\$ Veicular (R\$)</b>	<b>48.000,00</b>	<b>64.000,00</b>	<b>80.000,00</b>	<b>96.000,00</b>	<b>112.000,00</b>
Receita Líquida – VP (R\$)	-845.000,00	-2.037.000,00	-3.229.000,00	-4.421.000,00	-5.612.000,00
<b>Tx Juros (ano)</b>	<b>0,096</b>	<b>0,128</b>	<b>0,16</b>	<b>0,192</b>	<b>0,224</b>
Receita Líquida – VP (R\$)	-807.000,00	-2.109.000,00	-3.229.000,00	-4.198.000,00	-5.042.000,00
<b>Km / dia</b>	<b>210</b>	<b>280</b>	<b>350</b>	<b>420</b>	<b>490</b>
Receita Líquida – VP (R\$)	-8.416.000,00	-5.823.000,00	-3.229.000,00	-635.000,00	1.959.000,00
<b>Rendimento Energético (km/m<sup>3</sup>)</b>	<b>1,14</b>	<b>1,52</b>	<b>1,9</b>	<b>2,28</b>	<b>2,66</b>
Receita Líquida – VP (R\$)	-9.688.000,00	-5.651.000,00	-3.229.000,00	-1.614.000,00	-461.000,00
<b>Anos de Uso</b>	<b>4,2</b>	<b>5,6</b>	<b>7</b>	<b>8,4</b>	<b>9,8</b>
Receita Líquida – VP (R\$)	-6.890.000,00	-4.870.000,00	-3.229.000,00	-1.901.000,00	-817.000,00
<b>\$ Diesel (R\$)</b>	<b>0,96</b>	<b>1,28</b>	<b>1,6</b>	<b>1,92</b>	<b>2,24</b>
Receita Líquida – VP (R\$)	-12.292.000,00	-7.761.000,00	-3.229.000,00	1.303.000,00	5.834.000,00

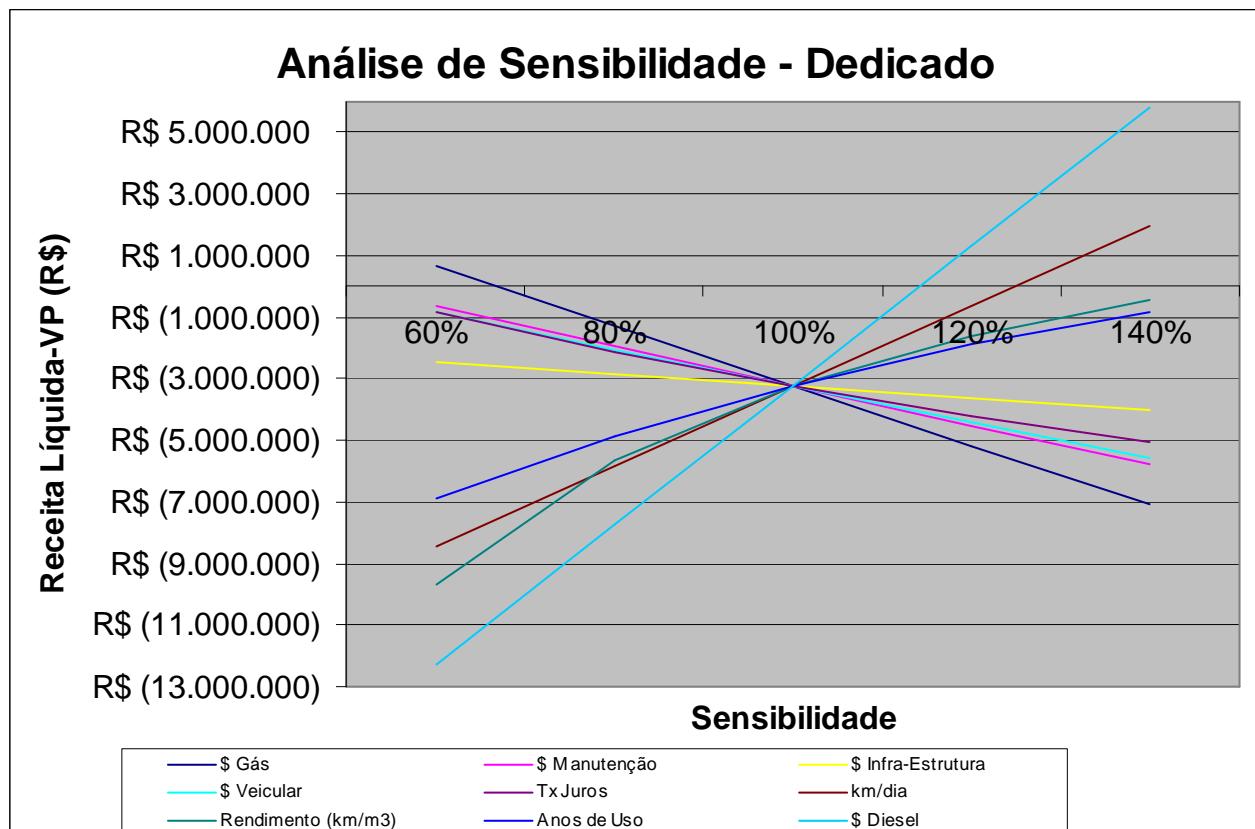


Figura 54: Análise de sensibilidade para os veículos Dedicados.

Para a rota tecnológica Dedicada não existe viabilidade econômica na maior parte dos diferentes níveis de sensibilidade aplicados (para todas as variáveis de influência consideradas<sup>233</sup>). Na tabela 67 indica-se quais das variáveis, em suas variações de níveis, possuem maior ou menor influência sobre o retorno econômico da rota Dedicada. A tabela também apresentará quais das variáveis são diretamente proporcionais à Receita Líquida – VP.

Tabela 67: Variáveis diretamente proporcionais à Receita Líquida - VP e variáveis mais importantes do ponto de vista da sensibilidade – Ottolisação.

VARIÁVEIS MAIS IMPORTANTES <sup>234</sup>	COEFICIENTE DE INCLINAÇÃO	CORRELAÇÃO
1-) \$ Diesel	226.550	POSITIVA
2-) Km / m <sup>3</sup> <sup>235</sup>	135.525	POSITIVA
3-) Km / dia	129.650	POSITIVA
4-) \$ Gás	-96.900	NEGATIVA
5-) Anos de Uso <sup>236</sup>	80.650	POSITIVA
6-) \$ Manutenção	-64.200	NEGATIVA
7-) \$ Veicular	-59.600	NEGATIVA
8-) Tx Juros <sup>237</sup>	-55.212	NEGATIVA
9-) \$ Infra-estrutura	-20.000	NEGATIVA

Como pode se observar, a variável que mais tem influência sobre o retorno econômico quando da substituição do óleo diesel por natural em coletivos urbanos, através da tecnologia de Ottolisação, é, notadamente, o próprio preço do óleo diesel. É a esta variável que a Receita Líquida – VP se faz mais sensível, seguida das autonomias em km/dia e km/m<sup>3</sup>. O preço do gás natural ocupa agora a 4<sup>a</sup> colocação em importância. Há mudanças significativas no quadro acima quando comparado ao quadro obtido para rotas tecnológicas de conversão (Dual Fuel e Ottolisação). As variáveis que menos impactam a Receita Líquida passam a ser: custo com infra-estrutura, taxa de juros e custo com investimento veicular. Todas essas conclusões estão aplicadas à sensibilidade do retorno econômico para a tecnologia Dedicada.

<sup>233</sup> A exceção é para óleo diesel ao nível de 120% e 140% do valor de referência, para autonomia ao nível de 140%, e para o preço do gás natural ao nível de 60% do valor de referência.

<sup>234</sup> O conceito de variável mais importante explica-se pela maior sensibilidade da Receita Líquida – VP a esta variável. Estão listadas em ordem de importância. O critério não é o maior valor do coeficiente de inclinação e sim o maior valor do módulo do coeficiente de inclinação, o qual indica o nível de sensibilidade da Receita Líquida – VP.

<sup>235</sup> A inclinação é calculada com valor médio. O gráfico não é uma reta.

<sup>236</sup> A inclinação é calculada com valor médio. O gráfico não é uma reta.

<sup>237</sup> A inclinação é calculada com valor médio. O gráfico não é uma reta.

## 8.4 – Análise de sensibilidade ao preço final do gás

A avaliação de sensibilidade da variação do preço final do gás natural veicular não considera investimentos em infra-estrutura de compressão por tratar de preço final da utilização do gás. O valor de referência a ser considerado para a análise será o preço do m<sup>3</sup> de gás no mercado varejista, a saber: R\$ 1,15/m<sup>3</sup>. Esta análise considera a inserção anual de uma frota de 40 veículos Dedicados de referência.

A tabela 68 trás os valores de Receita Líquida – VP e Receita Líquida-VP / Veículo em função das variações do preço final do gás natural, para as três diferentes opções tecnológicas. O objetivo desta análise é observar apenas a influência do preço final do gás natural sobre a Receita Líquida, podendo compará-la entre as três rotas tecnológicas. Os dados da tabela estão plotados em dois gráficos distintos, um para receita Líquida – VP e o outro para Receita Líquida – VP / Veículo inserido.

Tabela 68: Tabela dos níveis de sensibilidade da variável **preço final do gás natural** para a economicidade das três possibilidades de tecnologias veiculares.

<b>4.1.1.2.1.1 DUAL</b>	<b>60%</b>	<b>80%</b>	<b>100%</b>	<b>120%</b>	<b>140%</b>
\$ Gás (R\$)	0,69	0,92	1,15	1,38	1,61
Receita Líquida-VP (R\$)	17.299.000,00	10.825.000,00	4.352.000,00	(2.121.000,00)	(8.594.000,00)
Receita Líquida-VP/veículo (R\$)	81.599,00	51.061,00	20.528,00	-10.005,00	-40.537,00
<b>OTTOLISADO</b>	<b>60%</b>	<b>80%</b>	<b>100%</b>	<b>120%</b>	<b>140%</b>
\$ Gás (R\$)	0,69	0,92	1,15	1,38	1,61
Receita Líquida-VP (R\$)	14.395.000,00	7.845.000,00	1.296.000,00	(5.253.000,00)	(11.803.000,00)
Receita Líquida-VP/veículo (R\$)	97.263,00	53.006,00	8.756,00	-35.493,00	-79.750,00
<b>DEDICADO</b>	<b>60%</b>	<b>80%</b>	<b>100%</b>	<b>120%</b>	<b>140%</b>
\$ Gás (R\$)	0,69	0,92	1,15	1,38	1,61
Receita Líquida-VP (R\$)	(4.396.000,00)	(8.682.000,00)	(12.968.000,00)	(17.253.000,00)	(21.539.000,00)
Receita Líquida-VP/veículo (R\$)	-54.950,00	-108.525,00	-162.100,00	-215.662,00	-269.237,00

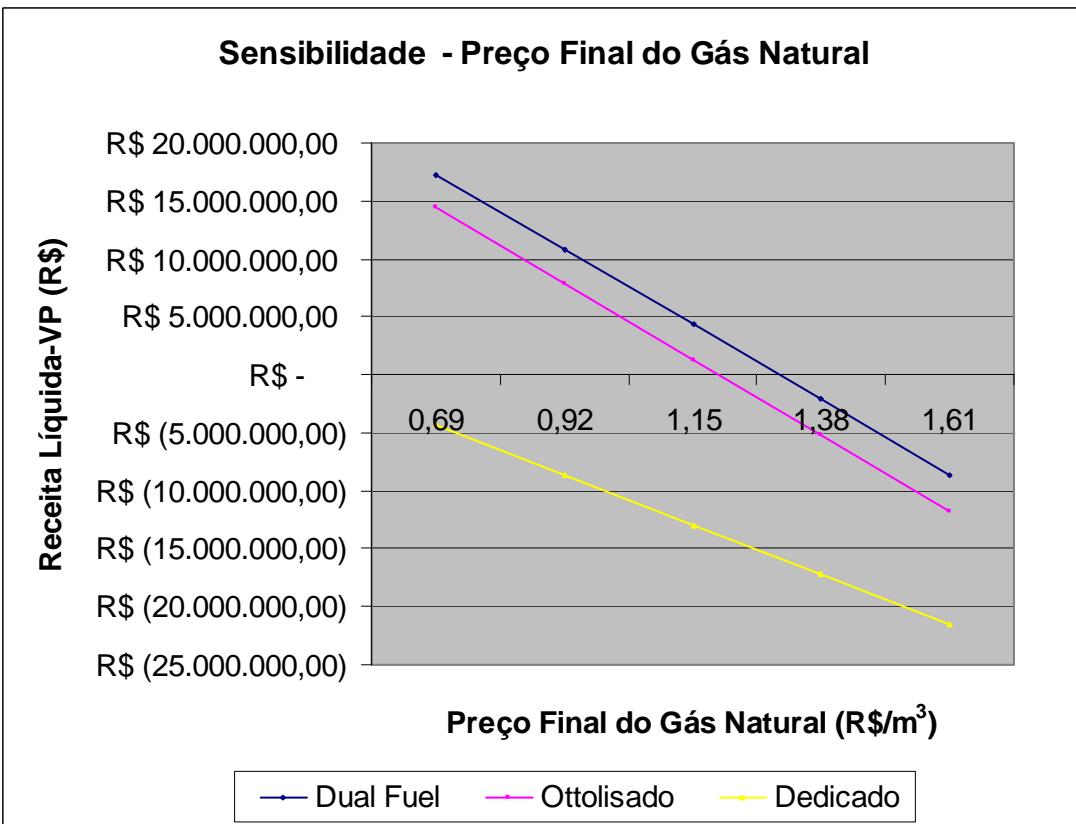


Figura 55: Análise de sensibilidade – preço final do gás natural

Pode-se perceber uma constante superioridade da tecnologia Dual Fuel, em termos de retorno econômico final, quando comparada às outras opções possíveis. Todavia, o coeficiente de inclinação das curvas muda bastante quando se passa à comparação de Receita Líquida – VP / Veículos inserido<sup>238</sup>. O gráfico da figura 56 ilustra essas mudanças.

<sup>238</sup> Devido à condições de isonomia de investimentos adotada na metodologia de viabilidade econômica deste capítulo, tem-se um número de veículos inseridos com tecnologia Dual Fuel superior aos das outras rotas tecnológicas apresentadas, basicamente pelo fato de este possuírem menores custos iniciais de investimento em tecnologia veicular.

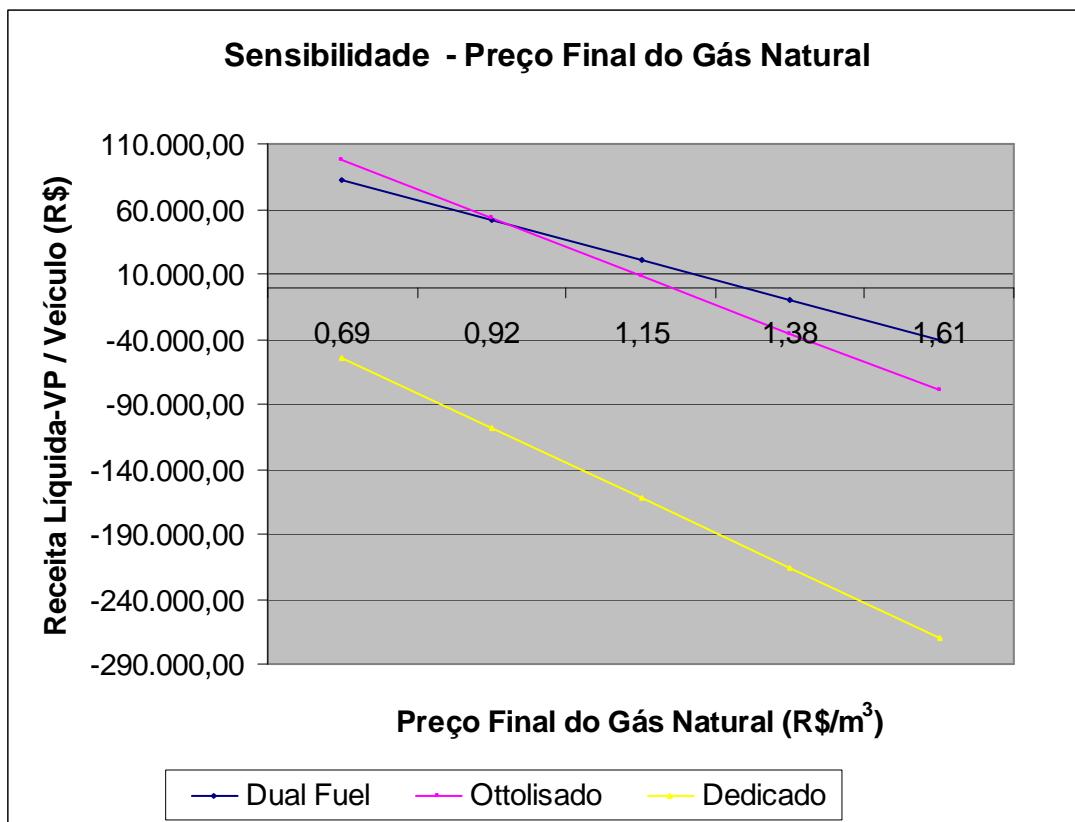


Figura 56: Análise de sensibilidade do preço final do gás natural.

Os coeficientes de inclinação das curvas acima estão relacionados na tabela 69.

Tabela 69: Receita Líquida Zero e inclinação da curva para uma frota de veículos movidos a gás natural.

Tecnologia	Preço do Gás Natural (R\$/m <sup>3</sup> ) para Receita Líquida Nula	Inclinação da Curva	Preço do Gás Natural (R\$/m <sup>3</sup> ) para Receita Líquida Nula /Veículo	Inclinação da Curva
Dual Fuel	1,305	-28.147.826	1,305	-132.773
Ottolisação	1,196	-28.478.260	1,196	-192.421
Dedicado	0,454	-18.634.782	0,454	-232.934

A tecnologia Dual Fuel perde competitividade quando se comparam retornos econômicos obtidos por unidade de ônibus a gás operando nas diversas rotas tecnológicas possíveis. Há um valor para preço do gás natural para o qual a rota

Ottolisada para a ter melhor viabilidade econômica do que a rota Dual Fuel. Em nosso modelo essa mudança acontece para valores do preço final do gás natural menores do que R\$ 0,95 / m<sup>3</sup>.

É bastante interessante perceber o deslocamento (afastamento) da curva tecnologia Dedicada em relação às outras rotas apresentadas. Este deslocamento deverá ser tratado no último tópico deste capítulo que apresentará condições especiais para a operação de frotas convertidas com tecnologia Dedicada. Estas condições deverão permitir à rota Dedicada apresentar real competitividade em relação aos veículos diesel convencionais, e também, competitividade em relação às outras rotas tecnológicas de conversão (Ottolisação e Dual Fuel).

Apesar da menor atratividade econômica dos ônibus Dedicados, em nosso contexto nacional atual<sup>239</sup>, deve-se, também, relevar aos aspectos ambientais das diferentes rotas tecnológicas de utilização do gás natural em coletivos urbanos, os quais tendem a favorecer aos veículos Dedicados de fábrica. Será mais fácil o atendimento aos novos, e mais restritivos, padrões de emissões veiculares nos veículos Dedicados do que naqueles veículos adaptados para o funcionamento com gás natural através de kits de conversão.

---

<sup>239</sup> Ano 2006

## 8.5 – Análise das condições favoráveis ao uso do gás natural em veículos Dedicados de fábrica.

Considerando-se a reduzida atratividade econômica observada para a tecnologia Dedicada, listam-se algumas possibilidades e condições necessárias para a melhoria da curva de retorno econômico (Receita Líquida - VP). Estas condições especiais favorecem a competitividade da tecnologia Dedicada, porém, podem favorecer, também, as outras rotas tecnológicas. Todavia, serão considerados dois cenários comparativos para condições especiais da rota Dedicada (Condições Especiais 1 e Condições Especiais 2). Em ambos os cenários haverá uma comparação entre a tecnologia Dedicada, em condições especiais, e as outras tecnologias em condições normais de operação (resultado já apresentado em cenários anteriores<sup>240</sup>).

As Condições Especiais 1 imaginadas para a rota tecnológica Dedicada são:

- Uso dos veículos em corredores exclusivos para transporte público; isso significará uma redução de R\$ 40.000,00<sup>241</sup> no custo inicial de aquisição da tecnologia veicular (uma unidade veicular), pois passa-se a comparar o veículo Dedicado com seu similar diesel com suspensão eletro-pneumática e motor traseiro<sup>242</sup>.
- Extensão da vida útil máxima destes veículos para 12 anos; este benefício permitirá a elevação do lucro líquido em valor presente obtido para esta tecnologia.

---

<sup>240</sup> Os cenários normais não incluirão os benefícios e as condições especiais que serão dados aos veículos Dedicados, dessa forma continua-se a utilizar as curvas apresentadas em cenários anteriores juntamente com a nova curva dos veículos dedicados especiais. O objetivo será a melhor visualização do ganho de competitividade da rota Dedicada com o deslocamento da sua curva, no gráfico, na direção das outras rotas tecnológicas de conversão (Ottolisação e Dual Fuel).

<sup>241</sup> A redução do custo diferencial entre um ônibus Dedicado ao uso do gás natural e um ônibus similar diesel poderia ser garantida, também, através de financiamentos especiais para os veículos a gás natural de fábrica. A diferenciação das regras, taxas e prazos de financiamento poderiam garantir que a diferença entre os custos para a aquisição dos ônibus a gás, em relação aos ônibus a diesel, não fosse superior a R\$ 40.000,00, por exemplo. Outra maneira de ser propor o incentivo para a redução deste diferencial poderia ser através de processos de depreciação apressada do capital investido. Ambas as possibilidades apresentadas não serão detalhadas neste estudo, mas podem servir de sugestão para aprofundamentos e desenvolvimentos futuros no tema.

<sup>242</sup> Na verdade o que se pretende é a fixação do preço do ônibus a gás natural em 15% superior ao ônibus diesel similar (motor traseiro e suspensão eletro-pneumática). Estará se comparando um ônibus a diesel (chassi e carroceria) com valor de mercado de R\$270.000,00 com um ônibus a gás natural com valor de R\$ 310.000,00. Esses são valores de mercado apresentados pela MERCEBES BENZ DO BRASIL em janeiro de 2006.

- Custo de manutenção superior em 50% ao custo de manutenção de um veículo similar diesel<sup>243</sup>. Os custos com manutenção, considerados nos cenários anteriores para a tecnologia Dedicada, foram estimados em 200% superiores aos custos com manutenção de veículos diesel convencionais. A redução deste custo deverá, também, aumentar a atratividade econômica da rota Dedicada.

O gráfico da figura 57 apresenta o impacto das condições especiais no deslocamento da curva de Receita Líquida (retorno econômico) para a tecnologia Dedicada. O gráfico foi estabelecido, também, sob a hipótese de custo de infra-estrutura de abastecimento e compressão de R\$ 2.000.000,00 (abastecimento rápido). Foi considerada a inserção de uma frota de 80 veículos em um prazo de dois anos. O preço do gás natural será aquele cobrado pela Companhia Estadual de Gás Natural – CEG. A variação do custo do  $m^3$  do gás natural é que nos revelará a atratividade das tecnologias aqui avaliadas. Atualmente, o custo médio do  $m^3$  de gás fornecido pela CEG é de R\$0,52/ $m^3$  (em janeiro de 2006).

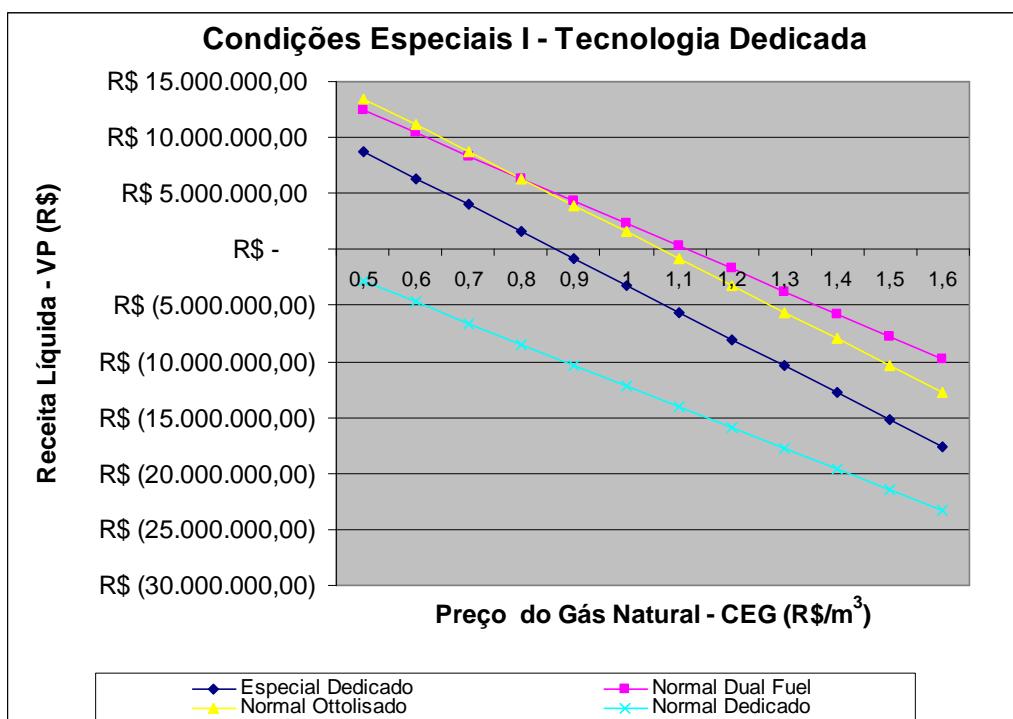


Figura 57 : Análise de sensibilidade da tecnologia Dedicada em Condições Especiais 1

<sup>243</sup> O objetivo de se manter, ainda, um maior indicador de custo de manutenção de motores Dedicados ao gás natural se justifica na economia de escala existente nos motores diesel atuais. É razoável esperar que os custos com a tecnologia Dedicada sejam ligeiramente maiores em toda a escala, produção e ciclo de vida dos primeiros produtos comercializados.

O deslocamento da curva Especial Dedicado é bastante significativo, em relação à curva Normal Dedicada, permitindo, inclusive, o cruzamento como o eixo das abscissas o que significará a existência de Receita Líquida, em valor presente, positiva. A atratividade econômica da tecnologia Dedicada mantém-se menor que as demais rotas tecnológicas, porém, sob Condições Especiais 1 de operação, ela passa a ter potencial de atratividade econômica quando comparada à tecnologia similar diesel.

A tabela 70 traz os pontos de interseção da curvas do gráfico da figura 57, bem como os coeficientes de inclinação das mesmas. Além destes, estarão também os pontos de interseção, e os coeficientes de inclinação, a serem utilizados no gráfico da figura 58 que traz a comparação da Receita Líquida – VP / veículo inserido.

Tabela 70: Receita Líquida Zero e inclinação da curva para uma frota de veículos movidos a gás natural.

<b>Tecnologia</b>	<b>Preço do Gás Natural (R\$/m<sup>3</sup>) para Receita Líquida Nula</b>	<b>Inclinação da Curva</b>	<b>Preço do Gás Natural (R\$/m<sup>3</sup>) para Receita Líquida Nula /Veículo</b>	<b>Inclinação da Curva</b>
Especial Dedicado	0,87	-23.980.000	0,87	-299.750
Normal Dual Fuel	1,12	-20.180.000	1,12	-131.895
Normal Ottolisação	1,07	-23.860.000	1,07	-192.419
Normal Dedicado	0,35	-18.640.000	0,35	-233.000

Podemos observar na tabela 70 que o preço do gás natural que anula a Receita Líquida para Condições Especiais 1 da rota Dedicada eleva-se de R\$ 0,35/m<sup>3</sup> (condição normal) para R\$ 0,87/m<sup>3</sup>. Este deslocamento da curva já apresenta a tecnologia Dedicada como atrativa economicamente, quando comparada com sua tecnologia diesel similar. Outro fator importante refere-se ao coeficiente de inclinação da curva, o qual passa a ser menor<sup>244</sup> e, consequentemente, mais sensível às variações do custo do gás natural fornecido pela Companhia Estadual de Gás.

O gráfico da figura 58 deriva do gráfico da figura e tabela 70, pois traz a curva de Receita Líquida – VP / Veículo inserido pela diferentes rotas tecnológicas (cenário normal), conjuntamente com a rota Dedicada sob Condições Especiais 1. A comparação de viabilidade econômica das diferentes rotas toma uma forma bastante

<sup>244</sup> Passando de -18.640.000 para -23.980.000.

interessante quando passamos a inserir a Receita Líquida gerada em função do número de veículos inseridos. A rota Dedicada, sob condições Especiais 1, encontra uma faixa de preço do gás natural onde passa a ser competitiva com as demais rotas de conversão (Ottolisação e Dual Fuel). Vide gráfico da figura 58.

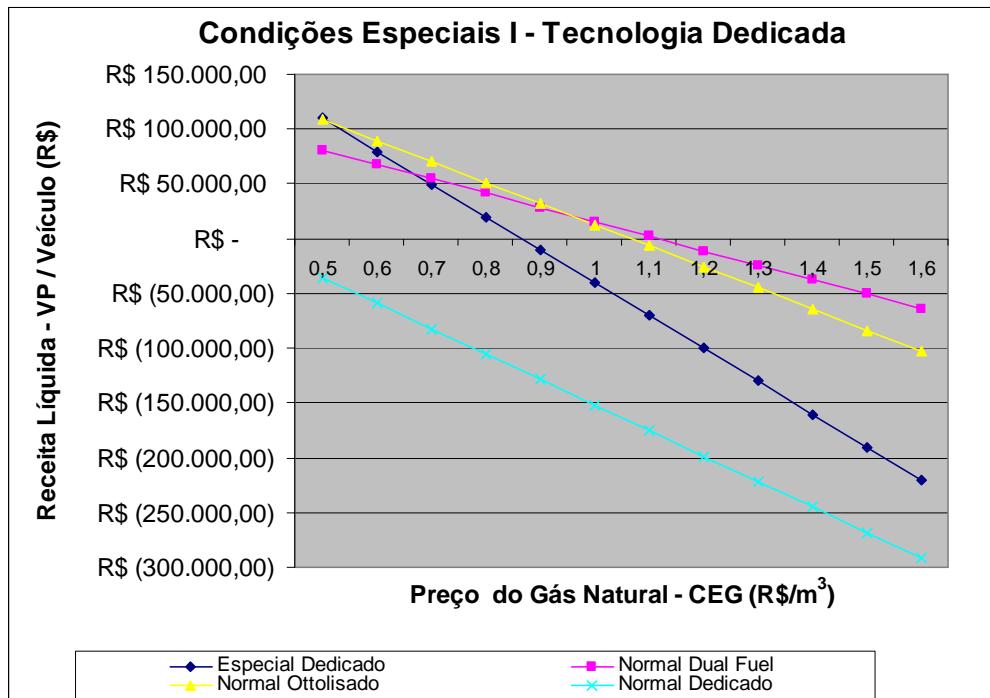


Figura 58: Análise de sensibilidade da tecnologia Dedicada em Condições Especiais 1 de operação. Considerando Receita Líquida por veículo inserido.

Pode-se observar que as Condições Especiais 1 sugeridas garantem viabilidade econômica para rota Dedicada<sup>245</sup>, todavia, o que parece ser mais importante é a possibilidade dada à rota Dedicada de ser competitiva, também, para com as demais opções tecnológicas para uso do gás natural em coletivos. Com o preço do gás natural entre R\$ 0,50 e R\$ 0,80, por m<sup>3</sup>, a rota Dedicada torna-se competitiva para com as rotas alternativas de conversão.

Outro fator importante a ser abordado é o elevado coeficiente de inclinação da curva Dedicada com Condições Especiais 1. Por ser o mais elevado de todas as curvas apresentadas esta perde viabilidade econômica em valores do preço final do gás natural bem menores do que as outras duas opções de tecnologia veicular<sup>246</sup>.

<sup>245</sup> Em relação aos veículos diesel convencionais.

<sup>246</sup> Aproximadamente em R\$ 0,87 / m<sup>3</sup>.

O último cenário a ser avaliado é o cenário com Condições Especiais 2 para a tecnologia Dedicada. Basicamente o objetivo deste cenário é a inserção do preço do óleo diesel como variável especial de incentivo ao uso do gás natural veicular em coletivos urbanos no Brasil. Sendo assim, o cenário com Condições Especiais 2 será idêntico ao cenário de Condições Especiais 1, diferindo apenas no preço praticado para o litro do óleo diesel. O óleo diesel será considerado com preço de R\$ 1,89 / litro<sup>247</sup>. Objetiva-se com esta condição deslocarem-se todas as curvas anteriores, garantindo assim melhores condições de competitividade de todas as rotas tecnológicas, em especial a Dedicada. É importante lembrar que a condição de elevação do preço final do óleo diesel elevará, também, a competitividade das demais rotas de conversão. Todavia, as outras condições especiais propostas da rota Dedicada favorecerão exclusivamente à rota Dedicada.

O gráfico da figura 59 apresenta a Receita Líquida – VP para as três rotas tecnológicas, em condições normais<sup>248</sup>, e para a rota Dedicada em Condições Especiais 2.

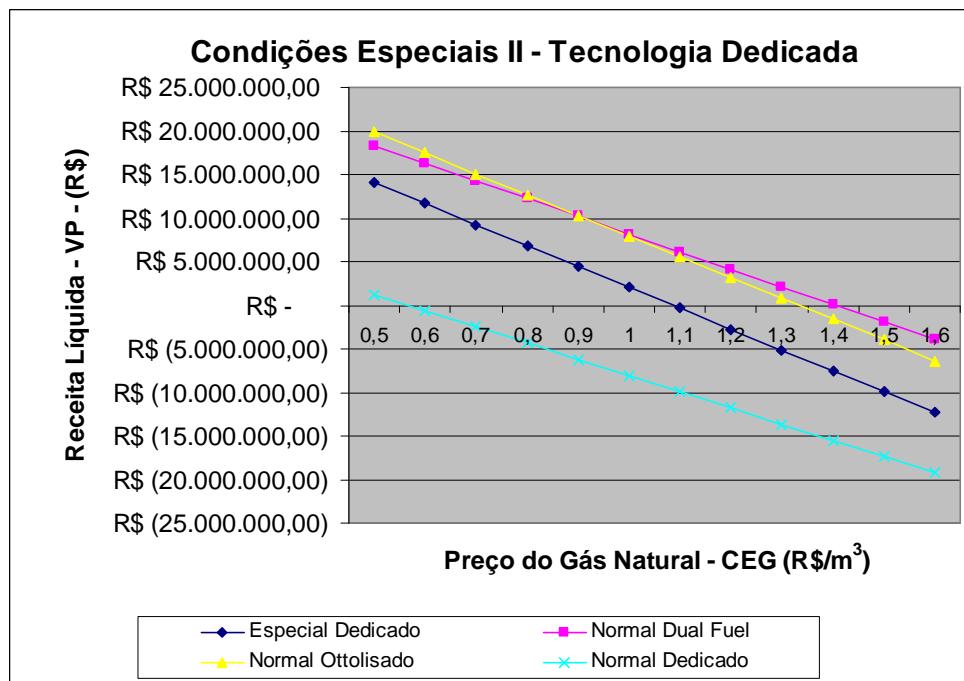


Figura 59: Análise de sensibilidade da tecnologia Dedicada em Condições Especiais 2

<sup>247</sup> O preço do óleo diesel tem sido fixado e utilizado para todos os cenários neste capítulo com o valor de mercado de R\$ 1,60 / litro. Considera-se a hipótese de um aumento no preço de óleo diesel de 18%. O preço do óleo diesel em R\$1,89 / litro é aquele que passa a dar viabilidade econômica para a rota Dedicada, em relação aos veículos diesel convencionais, sem a necessidade de nenhuma condição de contorno especial. A proposição feita para o preço do óleo diesel em R\$1,89 / litro apenas objetiva a visualização de melhores chances competitivas para a rota tecnológica Dedicada.

<sup>248</sup> Já considerando preço do diesel em R\$ 1,89 / litros.

O coeficiente de inclinação de todas as curvas muda muito pouco quando se comparam as Condições Especiais 1 com as Condições Especiais 2. Todavia, o deslocamento de ambas as curvas para a parte direita do gráfico é bastante significativo. Isso garante menores riscos de inviabilidade econômica devidos à elevação do preço do gás natural (a rota Dedicada em condições especiais passa, agora, a não ter viabilidade econômica apenas para valores do preço do gás natural, fornecido diretamente pela distribuidora, superiores a R\$ 1,10 / m<sup>3</sup><sup>249</sup>).

A atratividade econômica da tecnologia Dedicada mantém-se menor que as demais rotas tecnológicas, porém, sob Condições Especiais 2 de operação.

A tabela 71 traz os pontos de interseção da curvas do gráfico da figura 59, bem como os coeficientes de inclinação das mesmas. Além destes, estarão também os pontos de interseção, e os coeficientes de inclinação, a serem utilizados no próximo gráfico que traz a comparação da Receita Líquida – VP / veículo inserido.

Tabela 71: Receita Líquida Zero e inclinação da curva para uma frota de veículos movidos a gás natural.

Tecnologia	Preço do Gás Natural (R\$/m <sup>3</sup> ) para Receita Líquida Nula	Inclinação da Curva	Preço do Gás Natural (R\$/m <sup>3</sup> ) para Receita Líquida Nula /Veículo	Inclinação da Curva
Especial Dedicado	1,09	-23.980.000	1,09	-299.750
Normal Dual Fuel	1,41	-20.180.000	1,41	-131.895
Normal Ottolisação	1,33	-23.860.000	1,33	-192.419
Normal Dedicado	0,57	-18.640.000	0,57	-233.000

Podemos observar na tabela 71 que o preço do gás natural que zera a Receita Líquida para Condições Especiais 2 da rota Dedicada eleva-se de R\$ 0,57/m<sup>3</sup> (condição normal) para R\$ 1,09/m<sup>3</sup>. Este deslocamento da curva já apresenta a tecnologia Dedicada como atrativa economicamente, quando comparada com sua tecnologia diesel similar. Outro fator importante refere-se ao coeficiente de inclinação da curva, o qual passa, também, a ser menor e, consequentemente, mais sensível às variações do custo do gás natural fornecido pela distribuidora estadual de gás.

<sup>249</sup> O preço praticado hoje pela distribuidora estadual de gás natural (CEG) é de R\$ 0,52 / m<sup>3</sup>.

O gráfico da figura 60 deriva do gráfico da figura e tabela 71, pois traz a curva de Receita Líquida – VP / Veículo inserido pela diferentes rotas tecnológicas (cenário normal), conjuntamente com a rota Dedicada sob Condições Especiais 2. A comparação de viabilidade econômica das diferentes rotas toma uma forma bastante interessante quando passamos a inserir a Receita Líquida gerada em função do número de veículos inseridos. A rota Dedicada, sob condições Especiais 2, encontra uma faixa de preço do gás natural onde passa a ser competitiva com as demais rotas de conversão (Ottolisação e Dual Fuel). Vide gráfico da figura 60.

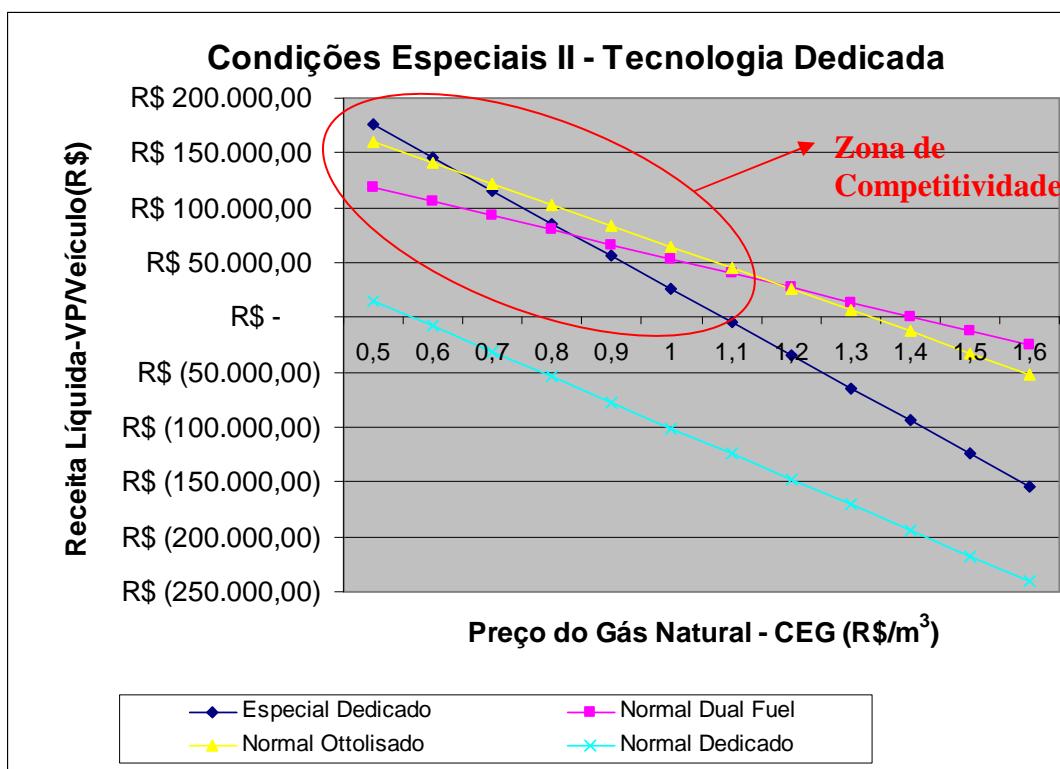


Figura 60: Análise de sensibilidade da tecnologia Dedicada em Condições Especiais 2 de operação. Considerando Receita Líquida por veículo inserido.

A curva da figura 60 mostra de forma clara a melhor condição de competitividade dada à rota Dedicada, sob condições Especiais 2, onde o retorno econômico acontece para todos os valores do preço do gás inferiores a R\$ 1,10 / m<sup>3</sup>. É importante destacar o maior coeficiente de inclinação da curva Dedicada Especial, em relação às demais, além da superioridade econômica desta sobre todas as demais para valores do preço do gás natural inferiores a R\$ 0,60 / m<sup>3</sup>.

A região do gráfico da figura compreendida entre a faixa de preço do gás natural entre R\$ 0,50 e R\$ 1,00 / m<sup>3</sup> apresenta as melhores condições de competitividade entre as diferentes rotas tecnológicas estudadas, lembrando-se que estas foram garantidas mediante a promoção de condições especiais de operação para a rota Dedicada e para o preço do óleo diesel referenciado em R\$ 1,89 / litro.

A promoção de condições especiais para a viabilidade econômica da rota Dedicada não visa à priorização desta rota em detrimento às outras rotas tecnológicas de conversão. Uma vez sendo a rota Dedicada, ainda, a rota de menor competitividade em relação aos veículos diesel convencionais, foi que se decidiu por esse exercício de variação das condições de contorno iniciais do modelo de viabilidade econômica da rota Dedicada. Todavia, conforme se pôde observar nos capítulos iniciais desta dissertação, relacionados aos aspectos tecnológicos, é claro perceber as vantagens ambientais associadas ao uso de veículos Dedicados de fábrica para o uso de gás natural veicular. O melhor desempenho ambiental dos veículos Dedicados talvez possa ser uma das motivações que justifiquem a priorização desta tecnologia em relação às demais, corroborando as diferentes condições especiais que poderiam dar viabilidade econômica a esta opção tecnológica apresentada.

## 8.6 – Análise Comparativa entre Ônibus a Gás Natural Dedicado e Ônibus a Diesel Modernos.

O objetivo deste último cenário de viabilidade econômica é avaliar a real condição de economicidade da utilização de ônibus a gás natural frente a entrada dos novos e modernos ônibus a diesel com sistemas de pós-tratamento dos gases<sup>250</sup>. Os elevados e rígidos padrões de emissão previstos pelo EURO IV e EURO V exigirão das montadoras esforços significativos para enquadramento de seus produtos ao mercado. Decidiu-se, nesta dissertação, por não inserir a comparação de veículos convertidos ao gás natural (por kits de conversão Dual Fuel e de Ottolisação) na comparação de ônibus a gás natural e ônibus diesel modernos.

A comparação entre a viabilidade econômica de ônibus a gás natural e ônibus diesel modernos foi proposta sobre a hipótese de que estas duas tecnologias de motorização passarão a ter desempenhos ambientais bastante semelhantes, atendendo a padrões EURO IV e EURO V. As rotas de ônibus a gás natural convertido (Dual Fuel e Ottolisação) apresentam dificuldades para atendimento de padrões EURO II e EURO III. Não há, ainda, estudos que apresentem ônibus a gás natural convertidos atendendo padrões EURO IV e EURO V. Ônibus a gás natural convertidos possuem bom potencial para diminuição de Material Particulado, todavia ainda necessitam garantir a redução de outros tipos de poluentes regulamentados (CO, NOx e HC). Por esses motivos é que foram excluídas as rotas de conversão nesta última análise de viabilidade econômica de ônibus a gás natural. O ônibus a diesel modernos que estará sendo avaliado neste tópico é aquele necessário ao atendimento dos padrões EURO V, limites que estarão entrando em vigor a partir de 2008 na Europa. Para estes veículos estão previstos os seguintes sistemas de pós-tratamento dos gases: EGR, DOC, DPF e SCR.

Uma outra condição especial adotada, considerando o desenvolvimento do mercado de ônibus a gás natural Dedicado no mundo e no Brasil, será a comparação entre ônibus equivalentes em termos de chassis e operação<sup>251</sup>. Sendo assim, a

---

<sup>250</sup> Vide capítulo 6.

<sup>251</sup> O modelo de chassis de motor diesel que opera no transporte público urbano por ônibus no Brasil é com feixe de molas na suspensão e motor dianteiro. Este chassis é aproximadamente 20% mais barato que o chassis para motor diesel com suspensão eletro-pneumática e motor traseiro. A comparação entre as economicidades de ônibus a gás natural e ônibus a diesel é bastante diferente conforme a consideração de

diferença de custo entre o ônibus a gás natural Dedicado e o ônibus diesel não convencional será de R\$ 40.000,00<sup>252</sup>, tal qual as Condições Especiais 1 da análise de viabilidade apresentado no sub-item anterior deste capítulo.

Os sobre custos de manutenção dos veículos a gás natural serão estimados como 50% superiores, tal qual as Condições Especiais 1 propostas no sub-item anterior. O cenário de inserção a ser considerado é o da hipótese de custo de infra-estrutura de abastecimento e compressão de R\$ 2.000.000,00 (abastecimento rápido), com a inserção de uma frota de 80 veículos em um prazo de dois anos. O preço do gás natural será aquele cobrado pela Companhia Estadual de Gás Natural – CEG (R\$ 0,52/m<sup>3</sup>). O preço do diesel considerado é de R\$ 1,60 / litro, preço médio do diesel em janeiro de 2006. O custo de oportunidade da revenda do veículo diesel será considerado, uma vez não existir a revenda dos veículos a gás natural Dedicados no Brasil.

O sobre-custo associados aos dispositivos de pós tratamento dos gases é aquele estimado no final do capítulo 6 desta dissertação, a saber: o sobre-custo dos dispositivos de pós-tratamento dos gases dos veículos diesel está estimado em R\$ 11.000,00. Este sobre-custo será favorável à viabilidade econômica dos veículos Dedicados ao gás natural.

O sobre-custo de utilização do líquido AdBlue para funcionamento do sistema de pós-tratamento dos gases de exaustão (sistema SCR) será considerado, também, nesta avaliação. O sobre-custo por quilômetro do AdBlue foi estimado no capítulo 6 desta dissertação, a saber: R\$ 0,026 / quilômetro rodado. Considerando-se a autonomia média de um ônibus urbano de 350 km /dia, tem-se o sobre-custo diário do consumo de AdBlue de R\$ 9,10 / dia de operação. Este valor será contabilizado no período de operação previsto nesta avaliação (7 anos) e trazido a valor presente. Este sobre custo haverá de contribuir, ainda mais, para a economicidade dos ônibus a gás natural, em comparação aos ônibus diesel modernos.

---

ônibus diesel com chassi convencional (feixe de mola e motor dianteiro) e com chassi de suspensão eletro-pneumática e motor traseiro. Todas as análises de viabilidade econômica deste capítulo consideraram a comparação dos ônibus a gás natural com veículos diesel convencionais (chassi com feixe de mola e motor dianteiro). Este último cenário realizará a comparação de viabilidade econômica dos veículos a gás natural Dedicados e os veículos diesel com chassi não convencional (suspensão eletro-pneumática e motor traseiro), sendo esta a tendência natural dos veículos diesel do futuro, tal qual ocorre hoje nos países industrializados.

<sup>252</sup> Esta diferença não inclui os sobre-custos estimados para os dispositivos de pós-tratamentos dos gases do escapamento dos veículos diesel modernos SCR, DOC, DPF e EGR e dos veículos a gás natural Dedicado (TWC e EGR). Vide capítulo 6.

Outro fator a ser considerado neste estudo é a elevação do consumo de combustível promovida pela inserção de dispositivos de pós-tratamento dos gases, em veículos do ciclo diesel modernos. A perda de carga associada à passagem dos gases pelo escapamento imprime maior consumo de combustível. Uma estimativa conservadora será considerada nesta avaliação, a saber: elevação do consumo em 5%<sup>253</sup>.

A tabela 72 apresenta o retorno econômico da inserção de uma frota de 80 veículos a gás natural Dedicados, em comparação aos veículos diesel modernos.

Tabela 72: Receita Líquida, em valor presente, na vida útil da frota Dedicada movida a gás natural adquirida nos primeiros 2 anos de operação, comparada com os veículos diesel modernos.

		Dedicado
Número de Veículos/ano		40
Conta Diesel (R\$/Vida útil) - Valor Presente		12.808.709,07
Cons. Diesel (l/dia)/carro		0
Conta Diesel (R\$/dia)/carro		0,00
Cons. Gás (m3/dia)/carro		184,21
Conta Gás (m3/dia)/carro		95,79
Conta Comb. Total (R\$/dia útil)		3.831,58
Conta Comb. Total (R\$/dia comum)		3.275,21
Conta Comb. Total (R\$/Vida útil) - Valor Presente		5.203.538,06
Economia de Combustível (R\$/Vida útil) - Valor Presente		7.650.171,01
Economia Vida útil (%) - Valor Presente		59,38%
ANO 1		Dedicado
Economia de Combustível (R\$/Vida útil) - Valor Presente		7.650.171,01
Investimento Inicial - Veicular (R\$)		-1.600.000,00
Sobre Custo Inicial dos Sistemas de Pós-Tratamento de Gases		440.000,00
Sobre Custo AdBlue – Valor Presente <sup>254</sup>		494.400,00
Manutenção (Vida útil) (R\$) - Valor Presente		-862.032,39
Custo de oportunidade da revenda do ônibus a diesel - VP		-976.569,50
Investimento Inicial - Infra-Estrutura (R\$) - Tipo 1		-2.000.000,00
Receita Líquida Vida Útil (R\$) - Valor Presente		3.100.969,12
ANO 2		Dedicado
Economia de Combustível (R\$/Vida útil) - Valor Presente		7.650.171,01
Investimento Inicial - Veicular (R\$)		-1.600.000,00
Sobre Custo Inicial dos Sistemas de Pós-Tratamento de Gases		440.000,00
Sobre Custo – Valor Presente AdBlue		494.400,00
Manutenção (Vida útil) (R\$) - Valor Presente		-862.032,39
Custo de oportunidade da revenda do ônibus a diesel - VP		-976.569,50
Investimento Inicial - Infra-Estrutura (R\$) - Tipo 1		0
Receita Líquida Vida Útil (R\$) - Valor Presente (2 ANO)		5.100.969,12
Receita Líquida Vida Útil (R\$) - Valor Presente		4.397.387,17
Receita Líquida Vida Útil (R\$) -Valor Presente (FROTA TOTAL)		7.498.356,29
Receita Líquida Vida Útil (R\$)/Veículo – VP (FROTA TOTAL)		93.729,45

<sup>253</sup> Existem diferentes relações de consumo para diferentes tipos de sistemas de pós-tratamento dos gases. Existem variações da redução consumo que ficam dentro da variabilidade de 1 a 9 %. Decidiu-se por adotar uma redução de consumo conservadora de 5% para o sistema completo de pós-tratamento dos gases de exaustão dos motores diesel modernos (FAIZ, 1996).

<sup>254</sup> O sobre-custo do líquido AdBlue foi calculado em valor presente. A estimativa é que o veículo rode 350 km / dia, 26 dias por mês, durante 7 anos de vida útil.

A avaliação dos resultados expressos na tabela 72 revela que a viabilidade econômica dos veículos Dedicados sobre os veículos diesel modernos é bastante real, apresentando um retorno econômico líquido de 93 mil reais para cada veículo inserido, para uma frota de 80 veículos inseridos. Esse retorno econômico em valor presente é extra, uma vez que todo o capital investido na conversão dos veículos e na infra-estrutura de abastecimento foi remunerado durante os anos de operação sob a taxa de juros de 16% ao ano. A comparação do retorno econômico de 93 mil reais por veículo é similar aos resultados alcançados nos cenários de viabilidade econômica iniciais deste capítulo, para as rotas de conversão (Dual Fuel e Ottolisação). Os cenários iniciais demonstram que a viabilidade econômica atual dos ônibus a gás natural é encontrada apenas para as rotas tecnológicas de conversão (Dual Fuel e Ottolisação), sendo essa viabilidade econômica da mesma ordem de grandeza daquela apresentada para os ônibus Dedicados ao gás natural comparados com ônibus diesel modernos. O que se deseja mostrar nessa avaliação é que a utilização dos ônibus a gás natural Dedicados, comparados aos ônibus diesel modernos, no futuro, será economicamente tão atraentes quanto hoje são as rotas de conversão (Dual Fuel e Ottolisação). Isto sinaliza uma tendência de viabilização da rota tecnológica Dedicada ao gás natural em substituição ao óleo diesel, comparada aos motores diesel modernos necessários ao atendimento futuro dos padrões de emissão (EURO IV e EURO V).

A variação do preço do m<sup>3</sup> do gás natural já revelará a atratividade da tecnologia Dedicada ao gás natural, em comparação aos veículos diesel modernos. Atualmente, o custo médio do m<sup>3</sup> de gás fornecido pela CEG é de R\$0,52/m<sup>3</sup> (em janeiro de 2006). A análise de sensibilidade das diferentes variáveis relacionadas às condições de contorno desta avaliação de viabilidade econômica pode ser observada na figura abaixo, sendo apresentada, também, a classificação das variáveis quanto ao impacto direto sobre a economicidade dos ônibus a gás Dedicados, em comparação aos ônibus diesel modernos.

Tabela 73: Tabela dos níveis de sensibilidade das principais variáveis de influência para a economicidade dos veículos Dedicados, em comparação com veículos diesel modernos.

SENSIBILIDADE	60%	80%	100%	120%	140%
<b>\$ Gás</b>	<b>0,312</b>	<b>0,416</b>	<b>0,52</b>	<b>0,624</b>	<b>0,728</b>
	11.374.000,00	9.436.000,00	7.498.000,00	5.560.000,00	3.622.000,00
<b>\$ Manutenção</b>	<b>12.930,49</b>	<b>17.240,65</b>	<b>21.550,81</b>	<b>25.860,97</b>	<b>30.171,13</b>
	8.140.000,00	7.819.000,00	7.498.000,00	7.177.000,00	6.856.000,00
<b>\$ Infra-estrutura/veículo</b>	<b>15.000,00</b>	<b>20.000,00</b>	<b>25.000,00</b>	<b>30.000,00</b>	<b>35.000,00</b>
	8.298.000,00	7.898.000,00	7.498.000,00	7.098.000,00	6.698.000,00
<b>\$ Veicular</b>	<b>24.000,00</b>	<b>32.000,00</b>	<b>40.000,00</b>	<b>48.000,00</b>	<b>56.000,00</b>
	8.690.000,00	8.094.000,00	7.498.000,00	6.902.000,00	6.306.000,00
<b>Tx Juros</b>	<b>0,096</b>	<b>0,128</b>	<b>0,16</b>	<b>0,192</b>	<b>0,224</b>
	10.143.000,00	8.721.000,00	7.498.000,00	6.440.000,00	5.519.000,00
<b>Km / dia</b>	<b>210</b>	<b>280</b>	<b>350</b>	<b>420</b>	<b>490</b>
	1.833.000,00	4.666.000,00	7.498.000,00	10.330.000,00	13.163.000,00
<b>Rendimento Energético</b>	<b>1,14</b>	<b>1,52</b>	<b>1,90</b>	<b>2,28</b>	<b>2,66</b>
	1.039.000,00	5.076.000,00	7.498.000,00	9.113.000,00	10.267.000,00
<b>Anos de Uso</b>	<b>4,20</b>	<b>5,60</b>	<b>7,00</b>	<b>8,40</b>	<b>9,80</b>
	3.502.000,00	5.707.000,00	7.498.000,00	8.953.000,00	10.135.000,00
<b>\$ Diesel</b>	<b>0,96</b>	<b>1,28</b>	<b>1,60</b>	<b>1,92</b>	<b>2,24</b>
	-2.041.000,00	2.728.000,00	7.498.000,00	12.268.000,00	17.039.000,00
<b>\$ Pós-Tratamento</b>	<b>6.600,00</b>	<b>8.800,00</b>	<b>11.000,00</b>	<b>13.200,00</b>	<b>15.400,00</b>
	7.170.000,00	7.334.000,00	7.498.000,00	7.662.000,00	7.826.000,00
<b>\$ Líquido AdBlue</b>	<b>1,06</b>	<b>1,41</b>	<b>1,76</b>	<b>2,11</b>	<b>2,46</b>
	7.300.000,00	7.399.000,00	7.498.000,00	7.597.000,00	7.696.000,00
<b>\$ Revenda</b>	<b>14.648,54</b>	<b>19.531,39</b>	<b>24.414,24</b>	<b>29.297,09</b>	<b>34.179,94</b>
	8.226.000,00	7.862.000,00	7.498.000,00	7.135.000,00	6.771.000,00

Os dados da tabela 73 estão plotados no gráfico da figura 61, onde podem ser interpretados de forma direta. Nesta avaliação de sensibilidade inseriram-se outras três novas variáveis de interesse. Inseriu-se o sobre-custo dos dispositivos de pós-tratamento dos gases e o sobre-custo do líquido AdBlue de alimentação do sistema SCR<sup>255</sup>. A outra variável que também será avaliada é o custo de oportunidade da revenda do veículos diesel usado, supondo-se que mudanças também poderão ocorrer com essa variável, seja reduzindo ou elevando o seu impacto sobre a viabilidade dos ônibus a gás natural<sup>256</sup>.

<sup>255</sup> Sistema de pós tratamento dos gases de motores do ciclo diesel. Vide capítulo 6.

<sup>256</sup> É natural imaginar que a revenda dos ônibus gás natural dedicados haverá de ser viabilizada em algum momento. É possível também que o custo de oportunidade da revenda suba ainda mais. Nesse sentido é que decidiu-se por incluir esta variável pela primeira vez, neste capítulo, na avaliação de sensibilidade do retorno econômico da rota dedicada em comparação com ônibus a diesel modernos.

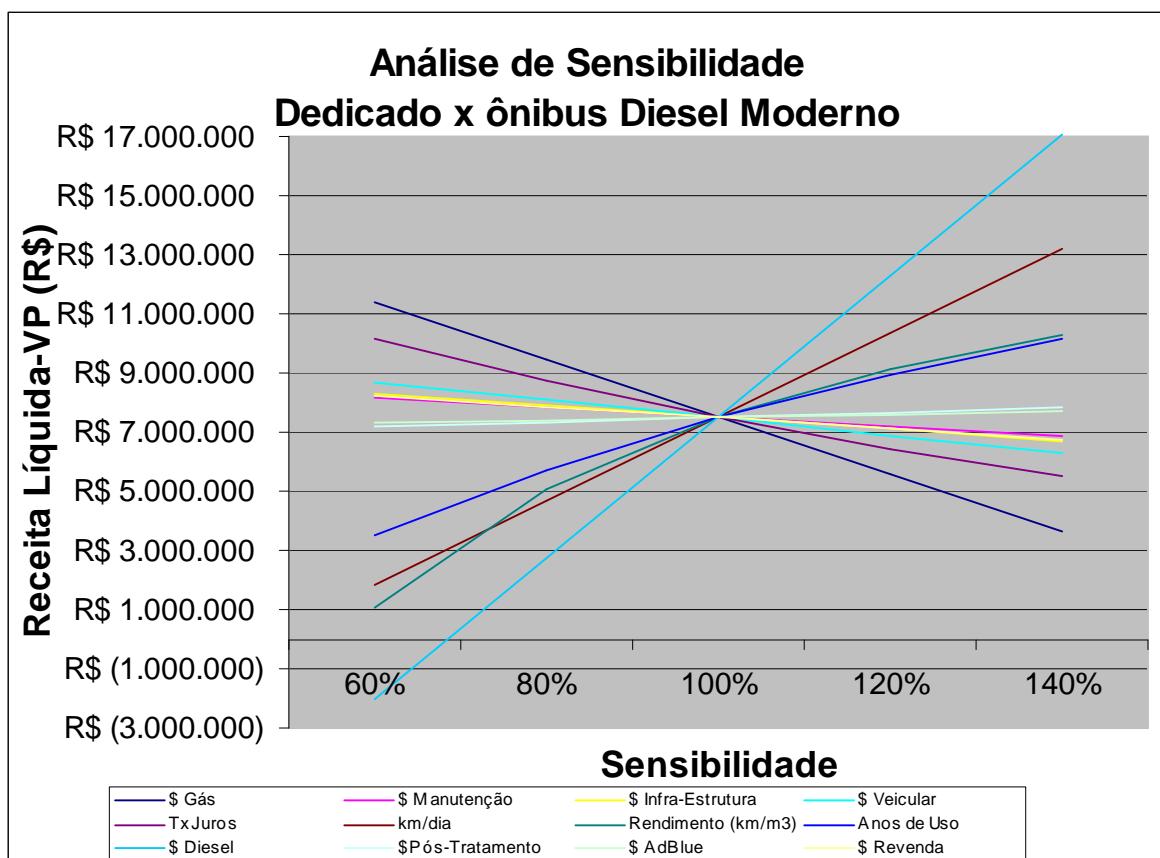


Figura 61: Análise de sensibilidade para os veículos Dedicados, em comparação aos veículos diesel modernos.

A figura 61 demonstra a viabilidade da rota Dedicada em relação aos motores diesel modernos em praticamente todos os níveis de sensibilidade, para variações de até 40% (para mais e para menos) em todas as variáveis consideradas importantes e impactantes. A única variação que inviabilizou economicamente a rota Dedicada foi a condição de contorno com o preço do diesel em 60% do seu valor atual real (R\$ 0,96 / litro). A análise de sensibilidade acima demonstra a robustez da viabilidade econômica do uso de ônibus Dedicados, comparados com os ônibus a diesel modernos que haverão de começar a ser introduzidos, lentamente, a partir de 2009 (EURO IV), no Brasil. A rota Dedicada não apresenta viabilidade econômica quando comparada aos ônibus diesel convencionais, todavia, quando compara aos ônibus diesel do futuro passa a ser viável, do ponto de vista de retorno econômico.

A tabela 74 ilustra o potencial das variáveis de interesse no retorno econômico da rota dedicada ao gás natural. É importante ressaltar que a classificação adotada

para as variáveis de maior impacto na viabilidade econômica da rota Dedicada aplicase à sensibilidade do retorno econômico às mesmas. As variáveis foram classificadas em ordem de importância<sup>257</sup>.

Tabela 74: Variáveis diretamente proporcionais à Receita Líquida - VP e variáveis mais importantes do ponto de vista da sensibilidade – Veículos Dedicados comparados com veículos diesel modernos.

VARIÁVEIS MAIS IMPORTANTES <sup>258</sup>	COEFICIENTE DE INCLINAÇÃO	CORRELAÇÃO
1-) \$ Diesel	238.550	POSITIVA
2-) Km / dia	141.650	POSITIVA
3-) \$ Gás	-96.900	NEGATIVA
4-) Anos de Uso <sup>259</sup>	59.100	POSITIVA
5-) Km / m <sup>3</sup> <sup>260</sup>	57.700	POSITIVA
6-) Tx Juros <sup>261</sup>	-46.050	NEGATIVA
7-) \$ Veicular	-29.800	NEGATIVA
8-) \$ Infra-estrutura	-20.000	NEGATIVA
9-) \$ Revenda do veículo Diesel	-18.200	NEGATIVA
10-) \$ Manutenção	-16.050	NEGATIVA
11-) \$ Pós-Tratamento dos Gases	8.200	POSITIVA
12-) \$ AdBlue	4.950	POSITIVA

A variável de maior impacto significativo sobre o retorno econômico foi novamente o óleo diesel. A autonomia em km/dia do veículo é também significativa, devendo ser levada em consideração no planejamento de substituição de ônibus diesel por ônibus a gás natural dedicado. O preço do gás natural aparece, também, com forte influência no modelo de viabilidade, seguido pela variável anos de uso (vida útil) e pelo rendimento energético (km/m<sup>3</sup>). As outras variáveis apresentam impactos mais moderados.

É interessante analisar que as variáveis que eram outrora consideradas como barreiras à viabilidade econômica de ônibus a gás natural dedicados apresentam-se, neste último cenário, como as de menor significância na análise de sensibilidade proposta, são elas: **o investimento inicial veicular, o custo de infra-estrutura, o custo de oportunidade da revenda do ônibus diesel e o custo de manutenção**

<sup>257</sup> O coeficiente de inclinação da curva será o critério a ser utilizado para revelar o grau de importância da variável no modelo de viabilidade.

<sup>258</sup> O conceito de variável mais importante explica-se pela maior sensibilidade da Receita Líquida – VP a esta variável. Estão listadas em ordem de importância. O critério não é o maior valor do coeficiente de inclinação e sim o maior valor do módulo do coeficiente de inclinação, o qual indica o nível de sensibilidade da Receita Líquida – VP.

<sup>259</sup> A inclinação é calculada com valor médio. O gráfico não é uma reta.

<sup>260</sup> A inclinação é calculada com valor médio. O gráfico não é uma reta.

<sup>261</sup> A inclinação é calculada com valor médio. O gráfico não é uma reta.

**dos ônibus diesel dedicados.** Todavia, é importante ressaltar que as análises de sensibilidade realizadas no subitem 8.3.3 deste capítulo (também para a tecnologia dedicada, para as condições atuais de mercado, comparada aos veículos diesel convencionais atuais) mostraram que as variáveis citadas acima, neste parágrafo, também eram de menor impacto e significância no modelo de sensibilidade.

O mais importante a ser discernido pelo leitor, nesta avaliação, é que a análise de sensibilidade, e sua classificação de variáveis, não necessariamente estão relacionando quais variáveis estão dando maior ou menor viabilidade econômica para o modelo. E sim, quais variáveis, considerando as condições de contorno adotadas, apresentam maior ou menor capacidade de impactar o cenário de viabilidade modelado. É por esse motivo que as variáveis apresentadas no parágrafo anterior não eram tão significativas na análise de sensibilidade do cenário do subitem 8.3.3. Todavia foram elas as que mais pesaram para que o ônibus a gás natural Dedicado, no mesmo cenário do subitem 8.3.3, não fosse economicamente viável quando comparado aos ônibus diesel convencionais. O cenário do subitem 8.3.3 não apresentou viabilidade econômica para a rota dedicada devido às condições de contorno adotadas para as variáveis: **o investimento inicial veicular, o custo de infra-estrutura, o custo de oportunidade da revenda do ônibus diesel e o custo de manutenção dos ônibus diesel dedicados.** Assim, as variáveis apresentadas acima não são muito significativas quando analisadas sob a ótica de uma análise de sensibilidade, todavia se forem consideradas com valores muito elevados nas condições iniciais de contorno do modelo de viabilidade econômica poderão inviabilizar qualquer entrada de ônibus a gás natural, em substituição ao ônibus diesel (convencional ou moderno).

É importante, também, perceber a diferença entre variáveis que têm grande potencial histórico de variação, em seu nível de sensibilidade, e aquelas que apresentam menor potencial de variação. Por exemplo, a variável rendimento energético ( $\text{km/m}^3$ ) apresenta-se na 5<sup>a</sup> colocação no quesito de impacto do modelo de análise de sensibilidade. Todavia, as variações reais de seus níveis que haverão de ser experimentadas na prática dificilmente serão próximas de 20% (para menos e para mais). O mesmo não se pode dizer sobre a variável autonomia ( $\text{km/dia}$ ) que pode experimentar variações até superiores ao domínio de 40% (para mais e para menos) proposto pela análise de sensibilidade.

Será importante para aqueles que desejarem utilizar-se dos resultados e conclusões obtidos neste trabalho poder avaliar, dentre as variáveis mais significativas, quais aquelas haverão de ser melhor acompanhadas, monitoradas e modeladas com o objetivo final de garantir a utilização dos ônibus a gás natural, sejam eles dedicados de fábrica ou convertidos para o uso do gás natural (Dual Fuel ou Ottolisados).

Do ponto de vista do governo, políticas públicas podem ser propostas sob a ótica técnica das inter-relações das variáveis aqui estudadas. Deve-se atuar sobre as condições de contorno mais adequadas, para garantir a robustez da viabilidade econômica dos ônibus a gás natural sobre o ônibus diesel, e modelar adequadamente as variáveis mais significativas, do ponto de vista de sensibilidade, com o objetivo de se preverem possíveis e adversos cenários que possam desfazer a viabilidade econômica dos ônibus a gás natural no Brasil.

Uma última e importante avaliação se faz necessária, também, sob a ótica do empresário que haverá de perceber as possíveis vantagens econômicas propostas pela substituição de ônibus a diesel por ônibus a gás natural veicular. A viabilidade econômica dos ônibus a gás natural poderá, por si só, não ser argumento suficiente para o convencimento do setor empresarial de transporte urbano, hoje alicerçado nas boas características relacionadas à tecnologia diesel. Os motores diesel são, por sua concepção e projeto, robustos, confiáveis, de fácil manutenção e com rendimento energético superior aos motores de ciclo Otto. A percepção das vantagens associadas aos atuais ônibus diesel, a qual haverá de ser elevada com a futura entrada dos novos e modernos veículos diesel, haverá de inserir, junto ao setor empresarial, a variável risco do processo de inovação, a qual não pôde ser trabalhada em detalhes nesta dissertação.

O que pudemos observar nos capítulos introdutórios desta dissertação é que a robustez e confiabilidade da utilização de motores Dedicados ou convertidos ao gás natural veicular ainda não pôde ser comparada, em experimentação prática no Brasil, com os populares e convencionais veículos pesados do ciclo diesel. O risco do processo de substituição do óleo diesel por gás natural no transporte coletivo urbano precisará ser contrabalanceado com o possível retorno econômico que poderá obter com o uso de ônibus a gás natural no Brasil. A participação do poder público, nas três esferas, no sentido de garantir as condições de contorno, e possíveis condições especiais, para a operação de ônibus a gás natural, poderia contribuir

significativamente para a redução da elevada percepção dos riscos atuais sentidos pelo setor empresarial de transporte.

Os riscos associados a este processo de inovação tecnológica cresceram bastante nas últimas duas décadas, principalmente, pelas experiências de insucesso realizadas em diferentes cidades brasileiras, as quais deixaram suas marcas negativas contribuindo para uma maior resistência do setor empresarial de transportes, quanto à utilização de ônibus a gás natural no Brasil.

## CAPÍTULO 9 – CONCLUSÕES

Esta dissertação demonstrou que as experiências nacionais com as três rotas tecnológicas de uso do gás natural veicular em ônibus urbanos resultaram no aprendizado sobre as barreiras associadas a este processo de inovação tecnológica ainda não efetivado. Mais de 500 ônibus a gás natural já foram experimentados nos últimos 20 anos, sendo a maior parte deles operados com tecnologia Dedicada e no município de São Paulo.

A experiência com ônibus a gás natural em São Paulo revelou os desajustes e desencontros relacionados à inserção prematura de uma tecnologia com baixa confiabilidade operacional e maiores custos de manutenção.

A substituição de todos os ônibus urbanos a diesel, no Brasil, por ônibus a gás natural dedicados impacta na redução do consumo nacional de óleo diesel em apenas 8%. O potencial de redução do consumo de óleo diesel no país através de ônibus a gás natural mostra-se pequeno, uma vez que nem todos os ônibus urbanos poderão operar com gás natural por motivos de disponibilidade do energético. Sendo assim, o apelo que se apresenta como sendo o mais consistente para o uso do gás natural em ônibus urbanos é o ambiental, uma vez que o gás natural pode ser considerado um combustível mais limpo que o óleo diesel ainda comercializado no Brasil.

As vantagens relacionadas ao desempenho ambiental das rotas tecnológicas de ônibus a gás natural (Dedicado, Dual Fuel e Ottolisação) favorecem os veículos Dedicados por serem estes veículos comercializados por grandes montadoras, passando a ser homologados de fábrica para atendimento aos padrões ambientais vigentes. As rotas tecnológicas de conversão (Dual Fuel e Ottolisação) precisarão de maior desenvolvimento tecnológico para atendimento aos padrões de emissão EURO IV e EURO V.

A maior parte dos problemas associados à infra-estrutura de abastecimento e compressão do gás natural encontra-se solucionada. Os modernos compressores permitem a compressão do gás natural captando-o da malha dutoviária mesmo que em baixíssimas pressões de fornecimento. O tempo de abastecimento (rápido) do veículo a gás natural pode ser equivalente ao abastecimento de veículos diesel convencionais. O gás natural apresenta especificação regulamentada pela ANP, o que

anulou os problemas anteriormente relacionados à qualidade do energético disponibilizado aos veículos.

A rota tecnológica Dual Fuel apresenta vantagem associada à viabilidade técnica de sua utilização. A instalação de um kit de conversão Dual Fuel é relativamente fácil e muito menos interveniente que aquela associada à conversão por Ottolisação. O nível de intervenção devido à conversão por Ottolisação é a principal barreira associada à utilização desta rota tecnológica de conversão, em substituição aos veículos diesel convencionais e modernos.

Em condições normais, a viabilidade econômica do uso de ônibus a gás natural pelas três rotas tecnológicas apresentadas é maior para a rota de Ottolisação (Receita Líquida - VP variando de 53 mil reais a 105 mil reais / veículo inserido), seguida pela rota tecnológica Dual Fuel (Receita Líquida - VP variando de 43 mil reais a 79 mil reais / veículo inserido). Apesar dos seus maiores benefícios ambientais, a rota tecnológica Dedicada não apresentou nenhum cenário de viabilidade econômica favorável (Receita Líquida - VP positiva) quando comparada com a utilização de veículos do ciclo diesel convencionais.

Para a análise de sensibilidade das três rotas tecnológicas de ônibus a gás natural foi observada uma forte robustez relacionada ao retorno econômico positivo, variando-se em até 40% (para mais ou para menos) cada um dos níveis das variáveis de interesse consideradas no modelo de viabilidade econômica, apenas para as rotas tecnológicas de conversão (Dual Fuel e Ottolisação). A análise de sensibilidade do retorno econômico em relação às variáveis de interesse feita para a rota tecnológica Dedicada relevou a reduzida competitividade desta opção tecnológica frente aos convencionais ônibus a diesel atuais.

Ainda dentro da análise de sensibilidade das tecnologias foi observado que as variáveis estudadas apresentam impactos diferenciados sobre o retorno econômico desejado. A variável que maior impacto tem sobre a viabilidade econômica do uso do gás natural em coletivos urbanos é o preço do óleo diesel, para todas as três rotas tecnológicas estudadas. O preço do gás natural ocupou a 5<sup>a</sup> colocação em ambas as rotas de conversão (Dual Fuel e Ottolisação) e a 4<sup>a</sup> colocação para a rota Dedicada. O custo com infra-estrutura de compressão do gás natural nas garagens foi uma das variáveis de menor impacto sobre o retorno econômico, para as três opções tecnológicas.

Diante das melhores condições de desempenho ambiental da rota Dedicada, em relação às rotas de conversão (Dual Fuel e Ottolisação), foram propostos dois cenários de condições especiais com fins à elevação de sua competitividade em relação, primeiro, aos veículos diesel convencionais, e segundo, às rotas tecnológicas de conversão. Os dois cenários demonstraram que através de poucas alterações em algumas das variáveis de interesse, dentro das condições de contorno adotadas, pode-se promover a competitividade da rota tecnológica Dedicada em relação aos ônibus diesel convencionais, tanto quanto as rotas tecnológicas de conversão.

A comparação entre ônibus a gás natural e ônibus a diesel modernos foi realizada apenas para a rota tecnológica Dedicada, uma vez que esta já sinaliza alcançar as mesmas condições de desempenho ambiental dos modernos ônibus a diesel do futuro. O cenário especial proposto resultou num retorno econômico em valor presente, por veículo, favorável ao uso de ônibus a gás natural Dedicado. O retorno econômico encontrado foi da mesma ordem de grandeza dos resultados encontrados nos cenários iniciais normais propostos para as rotas tecnológicas de conversão (Dual Fuel e Ottolisação) comparadas aos veículos diesel convencionais (Receita Líquida – VP de 93 mil reais / veículo inserido). Este resultado demonstra que existe a tendência de os veículos Dedicados ganharem competitividade em relação aos veículos diesel na medida em que os veículos diesel convencionais passam a se modernizar incorporando sistemas modernos de pós-tratamento dos gases. Estes sistemas implicarão em uma penalidade energética (consumo de energia e perda de carga associada aos sistemas de pós-tratamento) e em maiores custos de aquisição e operação (AdBlue) do motor diesel. Frente à comparação com ônibus diesel avançados, visando uma melhor performance ambiental, os veículos Dedicados poderão ser tão competitivos no futuro, do ponto de vista econômico, quanto, em 2006, são as rotas tecnológicas de conversão comparadas aos veículos diesel convencionais. A análise de sensibilidade para este cenário também demonstrou robustez para os resultados de viabilidade econômica obtidos.

Note-se que uma análise complementar aos resultados desta dissertação deve envolver a percepção dos riscos associados ao processo de inovação tecnológica proposto. Esta análise ultrapassa os objetivos deste estudo. Contudo, a simples viabilidade econômica das opções tecnológicas de uso de ônibus a gás natural poderá não ser suficiente para convencer os empresários de transporte a investirem na substituição de suas frotas de veículos diesel. A confiabilidade, a robustez, o melhor desempenho energético e a desenvolvida indústria nacional dedicada aos veículos

pesados do ciclo diesel poderão justificar a percepção de elevados riscos relacionados ao uso de ônibus a gás natural no Brasil.

Com efeito, a viabilidade econômica é apenas uma condição *“sine qua non”* para a utilização de ônibus a gás natural no Brasil, podendo não ser condição suficiente. A participação do poder público nesta investida parece ser fundamental, principalmente como agente motivador e comprometido com as garantias necessárias à diminuição dos riscos associados e percebidos à substituição de ônibus a diesel por ônibus a gás natural.

Assim, as recomendações associadas a estudos futuros relacionados ao tema desta dissertação concentram-se na avaliação dos desdobramentos que podem ser obtidos através da sistematização e proposição de políticas públicas integradas que possam, juntamente com os demais atores interessados no processo de inovação tecnológica proposto, conduzir a uma real e sustentável substituição dos ônibus diesel urbanos por ônibus movidos a gás natural veicular. A inserção de outras variáveis, não consideradas neste estudo, poderá corroborar a viabilidade econômica dos ônibus a gás natural no Brasil, a saber: condições especiais de financiamento dos veículos e equipamentos destinados ao uso do gás natural no transporte público, condições de depreciação acelerada dos veículos e equipamentos destinados ao uso do gás natural, e contabilização dos custos ambientais associados aos impactos e externalidades impostos pela emissão de poluentes dos ônibus urbanos, tais como poluentes locais e poluentes globais.

Finalmente, a comparação com outras tecnologias, também disponíveis para o transporte coletivo urbano por ônibus, pode ser um desdobramento interessante em complementação a este trabalho. Tal qual o estudo de viabilidade técnica, econômica e ambiental do uso de ônibus a gás natural em substituição a ônibus diesel, pode-se avaliar, de maneira similar, as viabilidades relacionadas à entrada de ônibus híbridos em série (movidos a gás natural, óleo diesel ou álcool), trolebus, entre outros.

## BIBLIOGRAFIA

ABEGAS, R. O. S., "Gás Natural no Brasil Distribuição e Abastecimento", **EXPO GNV 2005**, Rio de Janeiro, Out. 2005

ABRANTES, R. ASSUNÇÃO, J. V., PESQUERO, C. R., "Emission of polycyclic aromatic hydrocarbons from light-duty diesel vehicle exhaust", **Atmospheric Environment**, Nº 38, pp. 1631-1640, 2003

ABREU, P. L., MARTINEZ, J. A., **Gás natural: o combustível do novo milênio**, 1ed. Porto Alegre, Plural Comunicação, 1999

AFEEVAS – Associação dos Fabricantes de Equipamentos para Controle de Emissões Veiculares da América do Sul. **Apresentação no Seminário de inspeção e manutenção veicular – FEEMA**, Rio de Janeiro, 2005

AHOUISSOUSSI, N. B. C., WETZSTEIN, M. E., "A comparative cost analysis of biodiesel, compressed natural gas, methanol, and diesel for transit bus systems", **Resource and Energy Economics**, n 20, pp. 1 a 15, 1997

ALMEIDA, E., "Perspectivas de Implantação de Corredores Azuis no Cone Sul", **EXPO GNV 2005**, Rio de Janeiro, Out. 2005

ALMEIDA, W. E., **Uma Análise Comparativa da Utilização dos Ônibus a Gás Natura e a Óleo Diesel**, Tese de M.Sc., Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1991

ALTERNATIVE FUEL SYSTEMS, **Natural Gás Conversion systems for Diesel Engines**, Relatório Técnico, Alberta, Canadá, 1997

ALTERNATIVE FUEL SYSTEMS, (1998), **Mercedes OM366LA Back Ground Material**. Relatório Técnico, Alberta, Canadá, 1997

ANP (1998). **Portaria nº 42, de 15 de abril de 1998 - Aprova o Regulamento o Técnico ANP nº002/98, anexo a esta Portaria, que estabelece normas para especificação do Gás Metano Veicular - GMV a ser comercializado nos municípios existentes nas regiões metropolitanas de São Paulo, Rio de Janeiro e Belo Horizonte, bem como nos municípios localizados no Vale do Paraíba**. Agência Nacional do

Petróleo, Rio de Janeiro, RJ. Disponível em <http://www.anp.gov.br/documentos/Portarias/IP04298.doc> acessado em 16/07/2001.

ANP. **Portaria nº 104/2001 - estabelece normas para especificação do Gás Metano Veicular - GMV.** Agência Nacional do Petróleo, Rio de Janeiro, RJ. Disponível em <http://www.anp.gov.br/documentos/Portarias/> acessado em 30/07/2005. 2001

ANP. **Gás Natural Veicular – Mercado em Expansão**, Nota Técnica 023/2003-SCG, Rio de Janeiro, 2003

ANP, **Preço Médio do óleo diesel ao Consumidor, Segundo Grandes Regiões e Unidades da Federação**, [www.anp.gov.br/doc/anuario2006/t3.21.xls](http://www.anp.gov.br/doc/anuario2006/t3.21.xls) , 2005A

ANP, **Preço Médio do GNV ao Consumidor, Segundo Grandes Regiões e Unidades da Federação**, [www.anp.gov.br/doc/anuario2006/t3.23.xls](http://www.anp.gov.br/doc/anuario2006/t3.23.xls) , 2005B

ANP, **Panorama da Indústria de Gás Natural no Brasil: Aspectos Regulatórios e Desafios**. Relatório Técnico, Rio de Janeiro, 2002

ANP, **Gás Natural Veicular Mercado em Expansão**, In Relatório 023/2003-SCG, Superintendência de Comercialização e Movimentação de Gás Natural, Rio de Janeiro, 2003

ANP, **Resolução Nº 15 de 17 de julho de 2006**. Estabeleceu a obrigatoriedade do uso do óleo diesel S500 em todas as regiões metropolitanas e proibiu a comercialização do óleo diesel de 3500 ppm de enxofre. Disponível em [www.anp.gov.br](http://www.anp.gov.br). Acessado em 22/09/2006, 2006

ASLAM, M. U., MASJUKI, H. H., KALAM, M. A., ABDESELAM, H., MAHLIA, T. M. I., AMALINA, M. A., “Na experimental investigation of CNG as an alternative fuel for a retrofitted gasoline vehicle”, **Fuel**, Nº 85, pp. 717-724, 2005

AVELLA, F., “Le Nuove Tecnologie per La Riduzione delle Emissioni degli Autoveicoli delle Emissioni degli Autoveicoli”, **1º Convegno Nazionale Sul Particolato Convegno Nazionale Sul Particolato Atmosfericoatmosferic**, Itália, 2004

AVELLA, F., "Vantaggi Ambientali dei Combustibili Desolforati", **Decreti Attuativi della Direttiva Europea 2003/17/CE**, Roma, 2005

AWAZU, L., "A utilização do Gás Natural no Transporte Coletivo nas Regiões Metropolitanas de São Paulo", **Assembléia Legislativa do Estado de São Paulo, Comissão de Serviços e Obras Públicas**, São Paulo, Ago.2003

BADAKHSHAN, A. et all, "The Multipoint Diesel Fuel transport Engine : Its Merits in Fuel Efficiency, Economics and Green House Gas Emission", **AFS fultural Report**, Calgary, Canada. 1996

BECK, J. et all, "Bus Fuel Efficiency, Local Emissions and Impact on Global Emission", **NGV'96 Conference & Exhibition**, Kuala Lumpur, Malaysia. 1996

BECK, N.J. et all, "Electronic Fuel injection for Dual Fuel Diesel Methane", SAE Technical Paper Series 891652, **Future Trasportation Technology Conference and Exposition**, Vancouver, Canada. 1989

BAKER, C., BEER, T., "Comments on 'Emissions from a vehicle fitted to operate on either petrol and compressed natural gas' by Ristovski et al. (2004)", **Science of the Total Environment**, Nº 366, pp. 392-394, 2006

BALASSIANO, R., **The future of urban buses**. Ph.D thesis, University of Westminster, UK. 1995

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

BALASSIANO, R., **Alternativas tecnológicas para o ônibus urbano: avaliação do ônibus a gás natural comprimido, do tróleibus e de seus impactos ambientais atmosféricos**. Tese de MSc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil. 1991

BALASSIANO, R., WHITE, P., "Experience of Compressed Natural Gas Bus Operations in Rio de Janeiro, Brazil", **Transportation Research – D**, Vol 2, Nº 2, pp. 147-155, 1997

BALDASSARRI, L. T., BATTISTELLI, C. L., CONTI, L., *at al.*, "Evaluation of emission toxic of urban bus engines: Compressed natural gas and

comparison with liquid fuels)", **Science of the Total Environment**, Nº 355, pp. 64-77, 2005

BATISTA, Vilson J. et al. **Projeto piloto de ônibus urbano "ottolizado" para medir desempenho com uso do combustível GNV**. Anais do 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás. IBP - Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás. Salvador, 2005.

BET. L., **Avaliação do Comportamento de Um Motor Diesel Refrigerado a Ar, Funcionando Como Motor Dual Diesel**, Tese de M.Sc, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 1991

BITTNER, M., "Necessary Fuel Quality for Modern Diesel Fuel Injection Equipment - Especially for Common Rail Systems", **SAE Brasil Diesel Forum Curitiba**, Curitiba, Ago.2006

BLANCO, J. V., "Panorama Geral GNV Veículos Pesados", **Gerência de Desenvolvimento de Mercado GNV**, 2004

BONELLO, F., **O Uso Veicular do Gás Natural em Grandes Centros Urbanos**, Tese de M.Sc., Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002

BOSCH, R. **The Bosch Automotive Handbook** (4 ed). Society of Automotive Engineers. Stutgard, 1997

BRASIL, MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA Balanço Energético Nacional 2000 - ano base 1999. Brasília, D.F., 2000

BRASIL, MINISTÉRIO DO EXÉRCITO – CAMPO DE PROVAS DA MARAMBAIA - **Cilindro Reservatório de Gás Natural Combustível para uso em Viaturas Policiais**, Colaboração Técnica 01/96, Rio de Janeiro, Brasil, 1996

BRASIL, MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES, GEIPOT - **Cálculo de Tarifas de Ônibus Urbanos: Instruções Práticas Atualizadas**, Brasília, 1994

BRASIL. MMA - Ministério do Meio Ambiente. CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. **PROCONVE - Programa de controle da poluição do ar por veículos automotores** – Proconve/Promot (2004) – Série Diretrizes Gestão Ambiental, Coleção Meio Ambiente, 2 ed Disponível

em: <http://www.ibama.gov.br/proconve/> acessado em 05/01/2005., 2004

BRASIL. MMA - Ministério do Meio Ambiente. CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução N° 010, de 26 de Setembro de 1984 Disponível em: <http://www.mma.gov.br/conama/> acessado em 20/11/2005., 1984

BRASIL. MMA - Ministério do Meio Ambiente. CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução N° 010, de 14 de dezembro de 1989. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/conama/> acessado em 20/11/2005., 1989

BRASIL. MMA - Ministério do Meio Ambiente. CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução N° 315, de 29 de outubro de 2002. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/conama/> acessado em 20/11/2005., 2002

BRASIL. MMA - Ministério do Meio Ambiente. CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução N° 291, de 2001. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/conama/> acessado em 20/11/2005., 2001

BRASIL. MME - Ministério de Minas e Energia. ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Boletim mensal do gás natural.** Disponível em <http://www.anp.gov.br>. acesso em 06/01/2006. Brasília, Dez., 2004

BRASIL. MME - Ministério de Minas e Energia. **BEN - Balanço Energético Nacional.** Governo Federal, 2005 – ano base 2004, 2005

BRASIL. MME - Ministério de Minas e Energia. CNE - Comissão Nacional de Energia. **Plano Nacional do Gás (PLANAS).** Governo Federal. Brasilia, 1987

BRASIL. MT - Ministério dos Transportes. GEIPOT - Grupo Executivo para a Integração da Política de Transportes. **Anuário Estatístico dos Transportes.** Brasília, 2000

BRASILEIRO, A., HENRY, E., **Viação ilimitada: ônibus das cidades brasileiras.** Cultura Editores Associados. São Paulo, Brasil, 1999

CANNON, J. S., SUN, C., **Bus futures – new technologies for cleaner cities.**  
Inform Inc., New York, NY, 2000

CAMARGO, M. N. **Estudo do comportamento de um motor de ignição por compressão trabalhando com óleo diesel e gás natural**, Tese de M.Sc Universidade Federal de Santa Maria, 2003

CAMPO DE PROVAS DA MARAMBAIA, "**Teste de Cilindro Reservatório de Gás Natural Combustível para uso em Viaturas policiais**", Boletim de Colaboração Técnica nº 01196, 1996

CARCANO, L., "Tendenze oli lubrificanti per autovetture ed autocarri", **AMME – ASMECCANICA**, Napoli, 2004

CASSIDY, P., "Technology Challenges and Trends for Diesel Engines", **SAE Brasil Diesel Forum Curitiba**, Curitiba, Ago. 2006

CEG, **Contato Pessoal**, Sra. Cristina – Gerente de grandes clientes, 2005

CENPES, **Utilização do GNV em Ônibus Urbano: Relatório Parcial de avaliação do Projeto Petrobras Ônibus a Gás**, Rio de Janeiro, Brasil, 2005

CIVIC CORP, Contato Pessoal – Sr. Ivan Dayrell – Diretor comercial, 2006

COELHO, S. T., "Proyectos de Renovación del Transporte en la Ciudad de São Paulo", **Iniciativa de Aire Limpio en Ciudades de Latinoamérica**, São Paulo, Jun. 2003

COHEN, J., T., "Diesel vs compressed natural gas for school buses: a cost-effectiveness evaluation of alternative fuels", **Energy Policy**, nº 33, pp. 1709 a 1722, 2004

CONCEIÇÃO, G. W., Perspectivas para a conversão de frotas de ônibus a diesel para o uso de gás natural veicular. **EXPO GNV**, Rio de Janeiro, outubro, 2005

CONPET, **Projeto Petrobras Ônibus a Gás: Contribuindo para a melhoria da qualidade do ar**, Rio de Janeiro, Brasil, 2004

CONPET, **Promovendo a Eficiência Energética nos Automóveis Brasileiros**, 1 ed., Rio de Janeiro, 2005

COSTA, S. G., **Análise da viabilidade da conversão de coletivos urbanos para o GNV: Um modelo preliminar**, Rio de Janeiro

CROPPER M., L., **Análise Econômica das Estratégias de Controle da Poluição do Ar**. Seminário da Iniciativa do Ar Limpo, São Paulo, Jul. 2004

CUMMINS, **Every Alternative. C Gás Plus: Natural Gas Engines for Truck and Bus**, Disponível em [www.cumminswestport.com](http://www.cumminswestport.com). 2005A

CUMMINS., “Sendero de la Tecnología del Gás Natural”, **EVERY ALTERNATIVE, CUMMINS WESTPORT, EXPO GNV 2005**, Rio de Janeiro, Brasil, 2005B

D'AVIGNON, A. L. A., **A Inserção do Gás Natural na Matriz Energética Brasileira: Avaliação do uso do GN como Combustível na Tração Veicular**, Tese de M.Sc., Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1993

DAIMLER CHRYSLER, “Tecnologia automotiva para uso de gás natural em veículos comerciais”. **Seminário do Gás Natural Automotivo no Rio de Janeiro**. Associação Brasileira de Engenharia Automotiva. Brasil. 2001

DAIMLER CHRYSLER, **Chassis para Ônibus Mercedes-Benz**, São Paulo, Jun. 2002

DELPHI, Contato Pessoal – Sr. Vicente Pimenta, gerente de desenvolvimento tecnológico, 2005

DIESELGAS, Empresa fabricante de Kit Dual Fuel – Representada no Brasil pela empresa CIVIC CORP. Disponível em [www.dieselgas.com.br](http://www.dieselgas.com.br) . 2006

DOCKERY DW, POPE, A . XU X., SPLENGER JD, et al. **An association between air pollution and mortality in six US cities**. N Engl J Med, 329. 1753-9, 1993

DOI/EIA, Annual energy Outlook 2006: with projections to 2030. U.S Department of Energy, Washington, DC 20585. [www.eia.doi.gov/oiaf/aeo/](http://www.eia.doi.gov/oiaf/aeo/). 2006

DONDERO, L., GOLDEMBERG, J., "Environmental implications of converting light gas vehicles: the Brazilian experience", **Energy Policy**, nº33, pp. 1703 a 1708, 2005

EBERWEIN, BURKHARD. **Environmentally friendly bus operation in Germany / Berlin** - Public Service Bus Department - Berliner Verkehrsbetriebe (BVG), 2004.

ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION, **Annual Energy Outlook 2006 With Projections to 2030**, DOE/EIA-0383, Washington, DC 20585005, 2006

EUDY, L. **Natural gas in transit fleets: A Review of the transit experience.** NREL - National Renewable Energy Laboratory, Colorado, USA, 2002.

FAIZ, A., CHRISTOPHER, S. W., MICHAEL P. W. **Air Polution from motor vehicles: standards and technologies for controlling emissions.** Banco Mundial, 1996.

FARAH, E. L., *A experiência da Cidade de São Paulo na utilização do gás metano veicular*. Secretaria Municipal do Verde e do Meio Ambiente de São Paulo, Depto. de Controle da Qualidade Ambiental. (Apresentação realizada no "Seminário de Gás Natural Automotivo no Rio de Janeiro" organizado pela Associação Brasileira de Engenharia Automotiva, em 09/05/ 2001, no Rio de Janeiro). 2001

FEEMA, **Relatório Anual da Qualidade do Ar - 2003**, Rio de Janeiro, 2004

FETRANSPOR, Contato pessoal – Sr. Guilherme Wilson, consultor de energia e meio ambiente, Rio de Janeiro, Brasil, 2006

FILHO, A. D. O., **Substituição de Diesel por Gás Natural em ônibus do Transporte Público Urbano**, Tese de M.Sc., Programa Interunidades de Pós-Graduação em Engenharia PIPGE, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006

FIRJAN, **O Futuro do GNV no Brasil**, Relatório, Rio de Janeiro, 2004

FOGLIATI, M. A., FILIPPO, S., GOUDARD, B., **Avaliação de Impactos Ambientais**, Rio de Janeiro, Interciênciia, 2004

FRACCHIA, J. C., "La crisis energética, la escasez, el precio del petróleo y el problema ecológico", **EXPO GNV 2005**, Rio de Janeiro, Out., 2005

FULTON, L. **Sustainable transport: New insights from the IEA's worldwide Transit study**. IEA-INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, Paris, France, 2001

FULTON, L.; EADS, G., **Sustainable Mobility Project (SMP) - Model Documentation and Reference Case Projection**. IEA - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, Paris, France, 2004.

FULTON, L.; SCHIPPER L. **Bus systems for the future - Achieving sustainable transport worldwide**. IEA - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, Paris, France, 2001

GÁSLOCAL, E., "Atendendo a demanda através de GNL e GNC", **EXPO GNV 2005**, Rio de Janeiro, Out. 2005

GELLER, H. S., **Revolução Energética**, Rio de janeiro, Relume Dumará, 1 ed, 2003

GUANABARA DIESEL, **Curso de Diagnóstico e Falha em Motores Eletrônicos**, Rio de Janeiro, Brasil, 2005

GUEDES, F. A., **Gás Natural Veicular: Alternativas para o Transporte Urbano de João Pessoa**. Tese de M.Sc, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 1996

GVR – **Gas Vehicles Report**. Index of Statistics, NGV's Statistics Balance, Edição 48, Janeiro, 2006

GWILLIAM, K.; KOJIMA, M.; JOHNSON, T. **Reducing air pollution from urban transport**. The Wor1d Bank, Washington, D.C., 2004.

HAO, J., HU, J., FU, L., "Controlling vehicular emissions in Beijing during the last decade", **Transport Research**, Part A, Nº 40, pp. 639-651, 2006

HEKKERT, M. P., HENDRIKS, F. H. J. F., FAAIJ, A. P. C., NEELIS, M. L., "Natural gas as an alternative to crude oil in automotive fuel chains well-to-wheel analysis and transition strategy development", **Energy Policy**, N° 33, pp. 579-594, 2005

HEMMINKI, K., PERSHAGEN, G., **Cancer Risk of Air Pollution: Epidemiological Evidence**. Environ. Health Perspect. 102, 187-192, 1994

HOEKSTRA, R.L., COLLIER, K., MULLIGAN, N., CHEW, L., "Experimental Study of a Clean Burning Vehicle", **Hidrogen Energy**, Vol 20, N° 9, pp. 737-745, 1995

HOLLNAGEL, c., BORGES, L. H., MURARO, W., **Combustion development of the Mercedes-Benz MY1999 CNG.J - Engine M366LAG**. SAE, International Fall Fuels & Lubricants, Meeting & Exposition. Toronto, Canada, 25-28 Oct, 1999

IBP, **Livro Branco do GNV**, 1 ed. COMITE DE GNV, Rio de Janeiro, Brasil, 2006

JACKSON, M., SCHUBERT, R., KASSOY, E., "Comparative Costs of 2010 Heavy-Duty Diesel and Natural Gas Technologies", **23<sup>rd</sup> National NGV Conference - An Industry Summit**, San Francisco, Oct. 2005

JUNIOR, A. O. F., **Avaliação do Comportamento de um Motor Diesel de Dois Cilindros Convertido para o Ciclo Otto, Utilizando Gás Natural Veicular**, Tese de M.Sc., Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 1994

JUNIOR, J. A. O., **A Utilização de Cenários Normativos para a Formulação de Políticas Públicas: A Adoção do Gás Natural Veicular – GNV no Sistema de Transporte Público por Ônibus no Município de Fortaleza**, Tese de D.Sc., Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005

JUNQUEIRA, COMPRESSORES JUNQUEIRA. **Contato Pessoal** – Sr. Vinícius – gerente de pesquisa e desenvolvimento, Belo Horizonte, 2006

KAMIMURA, A., GUERRA, S. M. G., SAUER, I.L., "On the substitution of energy sources: Prospective of the natural gás market share in the Brazilian urban transportation and dwellin sectors", **Energy Policy**, 2005

KATO, T., SAEKI, K., NISHIDE, H., YAMADA, T., "Development of CNG fueled engine with lean burn for small size commercial van", **JSOE of JAPAN**, nº 22, pp. 365-368, 2001

KAZIMI, C., "Evaluating the Environmental Impact of Alternative-Fuel Vehicles", **Journal of Environmental Economics and Management**, Nº 33, pp. 163-185, 1997

KOENDERS, N., "Opt for natural gas as a bus fuel", **Gas (Netherlands)**, Vol 1, Nº 116, pp. 24-27, 1996

LAGE, M. **Transporte más limpio con gas natural.** (Apresentação) IVECO – Natural Gas Business Development & Product Unit. Madrid, 2005

LAMASSA, R., "Gás Natural", **EXPO GNV 2005**, Rio de Janeiro, Out. 2005

LASTRES, L. F. M., **Sistema dual fuel - experiência da Petrobras.** Apresentação do representante do CENPES/PETROBRAS no seminário "Ônibus, Vans ou Automóveis? Por uma melhor utilização do GNV nos centros urbanos", Rio de Janeiro, RJ, 11 de Julho. 2001

LASTRES, L. F. M. et al, "Panorama da Utilização do Gás Natural Veicular em Veículos Pesados no Brasil" – **4º LACGEC – Congresso Latino Americano y Del Caribe de Gás y Eletricidad** – Tradajo 26, 2004

LASTRES. L. F. M., Relatório Final dos Sistemas de Conversão de Motores Diesel de Aspiração Natural para Utilização de Gás Natural – PETROBRAS/CENPES, 1987

LASTRES. L. F. M., Desenvolvimento de Sistema de Conversão para Utilização de Gás Natural em Motores Diesel Superalimentados – PETROBRAS/CENPES, março de 1988

LASTRES. L. F. M., Desenvolvimento de Sistema Eletrônico de Conversão de Motores Mercedes Benz OM 366 para o Uso de Gás Natural – PETROBRAS/CENPES – junho de 1991.

LIN, Y. C., LEE, W. J., LI, H. W., CHEN, C. B., FANG, G. C., TSAI, P. J., "Impact of using fishing boat fuel with high poly aromatic content on the

emission of polycyclic aromatic hydro carbons from a diesel engine", **Atmospheric Environment**, Nº 40, pp. 1601-1609, 2006

LIN, Z., SU, W., "A study on the amount of pilot injection and its effects on rich and lean boundaries of the premixed CNG/air mixture for a CNG/diesel dual-fuel engine", **International Journal of Global Energy Issues**, Vol 3, Nº 20, pp. 290-301, 2003

LINDAU, L. A., "Relato sobre o VII congresso anual europeu e exposição do gás natural veicular". **Transportes**, v. 9, n 1, Associação Nacional de Ensino e Pesquisa em Transportes. São Paulo, Brasil. 2001

LINDAU, L. A., TEIXEIRA, F. M. T., **An Overview of the CNG Vehicular Market in Brazil: Relatório**, Lastran – Laboratório de Sistemas de Transportes, 2005

LINKE, Renato R. A. **Vantagens ambientais na substituição dos ônibus urbanos diesel por GNV**. Secretaria de Estado do Meio Ambiente. CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Palestra apresentada no V Encontro Brasileiro dos Profissionais do Mercado do Gás, São Paulo, 2004.

LOWELL, D. **Natural gas use in transportation - Best practices for optimal emissions reduction** (M. J. Bradley & Associates). Apresentado na IV Vehicles Emissions International Conference - AFEEVAS - Associação dos Fabricantes de Equipamentos para Controle de Emissões Veiculares da América do Sul. Brasília, 2005. Disponível em <http://www.afeevas.org.br>. Acessado em 13/02/2006.

LUZ, M., **Apresentação Daimler-Chrysler**. Apresentação do representante da Dairnler-Chrysler no seminário "Ônibus, Vans ou Automóveis? Por uma melhor utilização do GNV nos centros urbanos", Rio de Janeiro, RJ, 11 de Julho. 2001

MACHADO, F. T. H. F., **A Utilização do Ônibus a Gás Natural Comprimido da Frota de Ônibus Urbanos como Alternativa para Redução na Poluição Atmosférica na Região Metropolitana de São Paulo**, Tese de M.Sc., Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia (IEE / EP / IF / FEA). Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996

MACHADO, G. b. et al: **Panorama of Natural Gas Usage in Heavy Duty Vehicles in Brazil** – CENPES/PETROBRAS – SAE 2005 – 01 – 2192, 2005A

MACHADO, G. B., "Panorama of Natural Gas Usage on Heavy Duty Vehicles in Brazil", **2005 Fuels & Lubrificants Meeting & Exhibition**, Rio de Janeiro, Mai. 2005B

MACHADO, G. B., MELO, T. C. C., LASTRES, L. F. M., "Panorama da Utilização do Gás Natural Veicular em Veículos Pesados No Brasil", **Congreso Latino Americano Y Del Caribe de Gas Y Electricidad**, Rio de Janeiro, 2004A

MACHADO, G. B., MELO, T. C. C., LASTRES, L. F. M., "Utilização do Gás Natural em Veículos Pesados No Brasil: Experiência, Cenário Atual e Barreiras que Ainda Persistem", **Rio Oil & Gas Expo and Conference 2004**, Rio de Janeiro, Out. 2004B

MAN - Nutzfahrzeuge Gruppe, **MAN Lösungen für Euro 4 und Euro 5**, Germany, 2006

MARGULIS, S., **Meio Ambiente: Aspectos Técnicos e Econômicos**, IPEA/PNUD, 1 ed, Brasília, 1990

MARTINS, J. A. S., **Uso do Gás Natural em Transporte Urbano Coletivo**, CENTRO DE TECNOLOGIAS DO GÁS, CTGAS, 2004

MATROS, Y.S. e MIROSH, E., "Energy Conservation and Environment Protection Utilising Natural Gas in Diesel Engines", **CADE/CAODC Drilling Conference**, Paper 97-129, Calgary, Canada, 1997

MATTHEY, J., **Diesel Partice Filter Systems for Off-Road Applications**, Itália, 2006

MATTOS, L.B.R., Gás natural veicular. In: Ribeiro, S. K, Cabral, S.D., Oliveira, L.B., Mattos, L.B. e M.R. Sampaio. Transporte sustentável: alternativas para ônibus urbanos. 1 ed. Centro Clima, Brasil. 2001

MELO, T. C. C., BARREIROS, P., **Experiência Petrobras com GNV em Veículos Pesados**, Rio de Janeiro, 2004

MERCEDES-BENZ DO BRASIL, **Daimler Chrysler - Ônibus Mercedes-Benz**, 2000

MIROSH, E. and Beck P., "Diesel Dual Fuel Considerations", **International Conference and Exhibition on Natural Gas Vehicles**, Toronto, Canada. 1994

MIROSH, E., "Avaliação e Debates sobre Sistemas de Conversão para Motores do Ciclo Diesel", **Seminário de Gás Natural Veicular**, PUC-Rio, 1995

MURARO, W. **Disponibilidade de veículos movidos a gás natural – Aplicação em ônibus urbano** - Daimler Chrysler. Apresentado do V Encontro dos Profissionais do Mercado de Gás Natural. São Paulo, 2004

NASCIMENTO, G. F., **Avaliação do Desempenho de Um Motor Diesel Funcionando Com Combustíveis Alternativos**. Tese de M.Sc, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 1999

NEWMAN, P., , "Why More Power with the AFS Dual Fuel System?" **AFS futernal Report**, Calgary , Canada. 1989

NYLUND, N., LAWSON, A., Report: **Exhaust emissions from natural gas vehicles**. IANGV – International Association for Natural Gas Vehicles (Inc). Gas Technical Committee, Holland, 2000

NYBERG F., GUSTASSON P., JARUP L., et al. **Urban air pollution and lung cancer in Stockholm**. Epidemiology, 11. 487-95, 2000

NOLL, A ., Uso do gás natural no Transporte Público Urbano. Gás e Energia, Comunicação Empresarial, Petrobras, RJ, 2004

NORTON, P. **Demonstration of Caterpillar C-10 Dual-Fuel Engines in MCI 102DL3 Commuter Buses**. NREL - National Renewable Energy Laboratory, Colorado, USA, 2000.

NTU - ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS EMPRESAS DE TRANSPORTES URBANOS, **Utilização do Gás Natural no Transporte Público Urbano - Relatório Final**, Brasília, Brasil. 2004

OCDE/IEA, **Automotive fuels for the future – the search for alternatives**. Organization for Economic Co-operation and Development and International Energy Agency, Paris, France. 1999

OLIVEIRA FILHO, A. D.; FAGÁ, M. T. W. **Impactos da substituição de diesel por gás natural no transporte público urbano.** Anais do 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás. IBP - Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás. Salvador, 2005.

OLIVEIRA, J. L. F., **Poluição Atmosférica e o Transporte Rodoviário: Perspectivas do Uso do Gás Natural na Frota de Ônibus da Cidade do Rio de Janeiro.** Tese de M.Sc, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1997

ONURSAL B. e GAUTAM S. P., **Vehicular Air Pollution: Experiences from Seven Latin American Urban Centers** – Word Bank Technical Paper No 373, Washington, D.C 20433, U.S.A., 1997

ORLANDO, A. F., NEWSOM, J., "Conversão de Motores Diesel para Operação com combustível Dual Diesel Gás Natural: Avaliação de Desempenho de Ônibus Urbanos", **7th Brazilian Congress of Engineering and Thermal Sciences – ENCIT**, Rio de Janeiro, Brasil, 1998

ORLANDO, A. F., SANTOS, E., VAL, L. G., "Emission Measurements in Dual Fueled Internal Combustion Engine Tests", XVIIIMKO WORLD CONGRESS, **Metrology for a Sustainable Development**, Rio de Janeiro, Brasil. 2006

ORLANDO, A. L., **Utilização do Diesel – Gás nos Ônibus de São Paulo**, Insight Trading, Relatório Técnico, 2000

PEDUGNC AUTOBUSES URBANOS, **Plan Estratégico Desarrollo Utilización Gnc Autobuses de Circuito Urbano**, 2002

PELKMAN, L., KEUKELEERE, D., LENAERS, G., **Emissions and fuel consumption of natural gas powered city buses versus diesel buses in realcity traffic**, Vito - Flemish Institute for Technological Research, Belgium, 2001

PETROBRAS, **Petrobras propõe nova estrutura de preços de gás natural para transporte coletivo urbano**, Rio de Janeiro, 2004

PETROBRAS, "Avaliação de Desempenho de Transporte Coletivo Urbano Movido a Gás Natural com Adoção de Cilindros de Material Compósito – Projeto GásBus em Porto Alegre", **Rede Gás e Energia em Foco**, Nº 1, Rio de Janeiro, Brasil, 2005A

**PETROBRAS, Gás Natural, Transporte Coletivo Urbano - Estudo de Viabilidade Técnica-Econômica para uma frota de 120 ônibus em Campo Grande – MS**, Campo Grande, Gerência de Desenvolvimento de Mercado Veicular, Rio de Janeiro, Brasil, 2005B

**PETROBRAS, Nota a Imprensa: Petrobras quer ampliar o uso do gás natural no transporte urbano**, 8 de março de 2005, O GLOBO, Rio de Janeiro, Brasil. 2005C

**PETROBRÁS, “Experiências e Conceitos”, EXPO GNV 2005**, Rio de Janeiro, Out. 2005D

**PETROBRAS - Programa de massificação do uso de gás natural no Brasil.**  
Apresentação. São Paulo, 2003

**POPE, C. A ., et al., Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution.** J. Am. Med. Assoc. 287 (9), 1132-1141, 2002

**PROCONVE, “Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores”, Coleção Meio Ambiente Série Diretrizes - Gestão Ambiental, Vol 1, nº 2, Brasília, 2004**

**PROCONVE, “Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores”, Coleção Meio Ambiente Série Diretrizes - Gestão Ambiental, Vol 2, nº 2, Brasília, 2004**

**RABL, A., “Environmental benefits of natural gas for buses”, Transportation Research Part D, pp. 391 a 405, 2002**

**RAY, P., BROWNE, M., MELE Y, P., URRAZA, J., PETTINAROLI, P., GERINGER, A., El desarrollo del GNC para el sector transporte pesado en la Argentina, 2000**

**REAL, M. V., Metodologia e Critérios para Análise de Alternativas Energéticas para O Transporte Rodoviário no Brasil com Foco na Sustentabilidade**, Tese de D.Sc., Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005

**REID , H. M., POLETTI , N. R., MANN, S. T., at al., “Dual fuel allows Euro II without a catalyst on 1960’s engine designs”, Natural Gas Vehicles Conference**, Buenos Aires Oct. 2004

**CETESB - Relatório de qualidade do ar no Estado de São Paulo 2004.** São Paulo, 2005.

**RENAULT, Frequently Asked Questions EURO 4 & EURO 5,** France, 2006

**RIBEIRO, S. K., , Transporte Sustentável: alternativas para ônibus urbanos,** Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ, 2001A

**RIBEIRO, S. K. Estudo das vantagens ambientais do gás natural veicular: O caso do Rio de Janeiro.** Centro Clima - Centro de Estudos Integrados sobre Meio Ambiente e Mudanças Climáticas, COPPE / UFRJ. Rio de Janeiro, 2001B.

**RIBEIRO, S. K., Barreiras na Implantação de Alternativas Energéticas para o Transporte Rodoviário no Brasil,** Rio de Janeiro, 1 ed, COPPE/UFRJ, 2002

**RIBEIRO, S. K., ARAÚJO, A. M., SCATOLINI, F., FERNANDES, M. T. G., FILHO, N. R. R., Transporte Mais Limpo,** 1 ed. Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ, 2003

**RIBEIRO, S. K., REAL, M. V., Novos Combustíveis,** 1 ed., Rio de Janeiro, Brasil, 2006

**RIBEIRO, S.K., COSTA, C. V, DAVID, E.G., REAL, M.V. e MA D'AGOSTO Transporte e mudanças climáticas.** 1 ed. Mauad, Rio de Janeiro, Brasil. 2000

**RISTOVSKI, Z., MORAWSKA, L., AYOKO, G. A., JOHNSON, G., GILBERT, D., GREENAWAY, C., "Emissions of a vehicle: fitted to operate on either petrol or compressed natural gas",** 2003

**ROEMER W., VAN W. JH., Daily mortality and pollution along busy streets in Amsterdam,** 1987-1998. Epidemiol, 12. 649-53, 2001

**SALA, J. F., Valorização dos Custos Ambientais Relacionados à Saúde – Estudo de Caso: Setor de transportes da Cidade de São Paulo,** Tese de M.Sc., Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1999

**SALDIVA, P. H, OLIVEIRA, C. R., POZO, R. M. K., LOBO, D. J. A., et al., "Diesel emissions significantly influence composition and mutagenicity of**

ambient particles: a case study in São Paulo, Brazil", **Environmental Research**, Nº 98, pp. 1-7, 2005

SANTOS M., FAGÁ, M. T. W.; BERMUDO, A. **Uso do gás natural como combustível em veículos de transporte coletivo urbano – Estágio atual, perspectivas e dificuldades. Relatório final.** Programa Interunidades de Pós-graduação em Energia, Universidade de São Paulo, 2003.

SANTOS, A. L. F., "A Experiência da Petrobras com Projetos de Demonstração", **EXPO GNV 2005**, Rio de Janeiro, Out. 2005.

SANTOS, E. M., ZAMALLOA, G. C., FAGÁ, M. T. W., **Gás Natural: estratégias para uma energia nova no Brasil**, 1ª Edição, São Paulo, Annablume, Fapesp, 2002

SÃO PAULO, Secretaria Municipal de Meio Ambiente - Lei nº 10.950 Dispõe sobre o uso do gás natural como combustível dos ônibus urbanos e da outras providencias. **Diário Oficial do Município de São Paulo**, São Paulo, SP. 1991

SÃO PAULO, Secretaria Municipal do Verde e do Meio Ambiente - Lei nº 12.140 Acrescenta artigo e altera a redação, introduzindo parágrafos, do artigo 1º da Lei n. 10.950(1), de 24 de janeiro de 1991. **Diário Oficial do Município de São Paulo**, São Paulo, SP. 1996

SÃO PAULO. Secretaria de Estado do Meio Ambiente. CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Relatório de qualidade do ar no Estado de São Paulo 2003**. São Paulo, 2004.

SAUER, I, "O Gás Natural no Brasil e o Contexto Internacional", **Gás e Energia**, Jun. 2004.

SAUER, I. L. **O gás natural no transporte coletivo metropolitano.** Apresentação Petrobras, Diretoria de Gás em Energia. São Paulo, 2003.

SCHETTINO, M. R. A. **Política ambiental para ônibus urbano nas RMSP.** (EMTU - SP). Apresentado na IV Vehicles Emissions International Conference AFEEVAS - Associação dos Fabricantes de Equipamentos para Controle de Emissões Veiculares da América do Sul. Brasília, 2005. Disponível em <http://www.afeevas.org.br>. acessado em 13/02/2006.

SENAI –Serviço Nacional de aprendizagem Industrial / ANTP – Associação Nacional de Transportes Públicos. Anais do Seminário “**O gás natural nos ônibus urbanos**”. São Paulo, 1992

SHAKOUR, A. A., “Natural gas as a Promessing alternative fuel for passenger cars”, **International Journal of Environment and Sustainable Development**, Vol, 2, Nº 2, pp. 184-196, 2003

SIVIERI, R., “Perspectivas de Oferta e Demanda de Gás Natural no Brasil”, **EXPO GNV 2005**, Rio de Janeiro, Out. 2005

SZKLO, A., **Fundamentos do Refino de Petróleo**. Editora Interciências, 1 ed, 2005

SOUZA, P. A. B. F., **Perspectiva Ambiental de utilização do gás natural em Natal: O caso do setor de transporte**, Tese de M.Sc, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2001

SPTRANS, **Experiência da SPTRANS na utilização do gás natural**. CD ROM., São Paulo, Brasil, 2002

SPTRANS. Contato Pessoal – Sr. Pedro Rama – gerente, 2005

TAVARES M. JR., PINTO, J. P., SOUZA, A. L., SCARMÍNIO, I. S., SOLCI, M. C., “Emission of polycyclic aromatic hydrocarbons from diesel engine in a bus station, Londrina, Brazil”, **Atmospheric Environment**, Nº 38, pp. 5039-5044, 2004

TEIXEIRA, F. M. T., **O potencial do gás natural veicular no mercado gaúcho**. Tese de M.Sc., Universidade Federal do Rio Grande Do Sul, Porto Alegre, 2003

TEIXEIRA, L. M., **Possibilidades de utilização do GNV no transporte público urbano**. Apresentação Sindicato das Empresas de Transportes de Passageiros do Município do Rio de Janeiro (Rio Ônibus) no Seminário “Ônibus, Vans ou Automóveis? Por uma melhor utilização do GNV nos centros urbanos” I Rio de Janeiro, RJ, 11 de Julho. 2001

THOMAS, S., DAWE, R. A., “Review of ways to transport natural gas energy from countries which do not need the gas for domestic use”, **Energy**, Nº 28, pp. 1461-1477, 2003

TOLMASQUIM, M. T., SZKLO, A. S., **A Matriz Energética Brasileira na Virada do Milênio**, 1 ed, Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ, ENERGE, 2000

TOMATIS, L., **Air Pollution and Human Cancer**. Berlin, Springer, 1990

TONQVIST M., EHRENBERG L. **On cancer risk estimation of urban air pollution**. Environ Health Perspect, 102. 173-81, 1994

TRIELLI, M. A., **Sistema de Injeção de Gás Sob Pressão em Cilindros de Motores Diesel de Médio Porte**. Tese de D.Sc. Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998

TZENG et al., Multi-criteria analysis of alternative-fuel buses for public transportation. Energy Policy 33, 1373-1383, 2005

ULLMANN, J., STUTZENBERGER, H., BOSCH, R "Biodiesel – Status and Experience", **SAE Brasil Diesel Forum Curitiba**, Curitiba, Ago. 2006

UNIVERSITY OF ALBERTA, "Turbocharged Diesel Engine NGV Conversion Project #25004U-DI-18, Final Report, Calgary, Canada, 1997

URBES, Contato pessoal – Sr. Renato, presidente, Sorocaba, Brasil, 2006

APTA, American Public Transportation Association. **Transit Statistics**. Washington, DC, 2005. Disponível em [www.apta.com/research/stats/](http://www.apta.com/research/stats/), acessado em 21/12/2005

USA - United States of America. DOE - Department of Energy. EIA – Energy Information Administration, Official Energy Statistical Agency of the U.S. DOE. Office of Oil and Gas, Natural Gas Pipeline Construction Database. **Changes in U.S. Natural Gas Transportation Infrastructure in 2004**. 2005. Disponível em: [www.eia.doe.gov](http://www.eia.doe.gov), acessado em 05/01/2006.

VERGANI, C., **Il Trattamento delle Emissioni Nei Piccoli Impianti di Cogenerazione**. Disponível em [www.ariacube.com](http://www.ariacube.com) , 2005

VIA URBANA (Revista especializada em transportes urbanos), março de 1994

VILLANUEVA, L. Z. D. **Uso de gás natural em veículos leves e mecanismo de desenvolvimento limpo no contexto brasileiro**. Tese (Doutorado em

Energia). Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia (IEE / EP / IF / FEA). Universidade de São Paulo, 2002.

WATT, G. M. **Natural gas vehicle transit bus fleets: The current international experience**. IANGV - International Association for Natural Gas Vehicles (Inc.). Gas Technology Services, Australia, 2001.

WEIDE, J. V. D., "Europe's Auto/Oil 2 Program, understanding the cost-benefits of NGV's", **IANGV 2000**, pp.63-74, 2000

WHITE MARTINS, **Cilindros para Gases Industriais**. Disponível am [www.whitemartins.com.br](http://www.whitemartins.com.br) . 2006

WILL, D., MCCLUSKEY, P. H., "Caterpillar", **SAE Brasil Diesel Forum Curitiba**, Curitiba, Ago. 2006

YANG, M., OLIVER, T. K., "Compressed Natural Gas Vehicles: motoring Towards a Cleaner Beijin", **Applied Energy**, Vol. 56, nº ¾, pp. 395-405, 1997

ZHOU, Z., JIANG, H., QIN, L., "Life cycle sustainability assessment of fuels", **Fuel**, 2006

## **ANEXO I – LEGISLAÇÕES SOBRE GÁS NATURAL VEICULAR**

**Portaria n. 733/86 - 6/06/86:** MME, institui, no âmbito da assessoria da CNE, Grupo de Trabalho para estudar e propor diretrizes com vistas ao uso do GNC;

**Portaria n. 1061 - 08/08/86:** MME, autoriza a utilização de GNC em substituição de óleo diesel nas frotas de ônibus, frotas cativas de serviço público e veículos de carga;

**ABNT em 1986/87,** - A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), constitui as Comissões de Estudos (CB 4 e CB 5) para normatizar o uso do Gás Natural Veicular.

**Norma NB-1257 da ABNT** – Associação Brasileira de Normas Técnicas (1987) dispõe sobre a utilização do Gás Natural em veículos automotivos (revista em fevereiro de 94 pela NBR-12.236 e em dezembro de 99 pela NBR-11.353/1).

**25/05/87** – O Presidente da República aprova a exposição de motivos n. 043 de 12/05/87, do MME, propondo resolução da CNE instituindo O Plano Nacional de Gás Natural – PLANGÁS;

**Resolução n. 01/87 - 24/06/87:** A CNE institui o PLANGÁS e fixa os termos de referência para o seu detalhamento;

**Portaria n. 1234 - 27/07/87:** O Ministro de Minas e Energia cria no âmbito do MME, o Grupo de Coordenação – PLANGÁS, visando o detalhamento do Plano. Foram formados 10 subgrupos específicos para cada setor de PLANGÁS;

**Resolução n. 01/88 - 27/05/88:** A CNE determina a aceleração do uso de GNC em transporte coletivo para a redução do consumo de diesel. Esta resolução foi aprovada pelo Exmo. Senhor Presidente da República, através da E.M. 021/88 de 04/04/88;

**Resoluções n.º 727, de 28/02/89 e n.º 735, de 15/09/89** - CONTRAM - Autoriza o uso de Gás Natural em frotas cativas, em veículos novos ou usados, com motores do ciclo diesel ou OTTO;

Institui a obrigatoriedade da apresentação do certificado de homologação de conversão, expedido pelo Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade

Industrial (INMETRO), ou entidades por ele credenciadas, para licenciamento junto às autoridades de trânsito;

**Portaria CNP/DIPRE n. 069 - 21/06/89:** O CNP determina o preço de venda para o GNC com combustível automotivo substituto do óleo diesel;

**Portaria Interministerial 755 - 21/12/89:** O Ministro de Minas e Energia e dos Transportes criam o Grupo Executivo de Acompanhamento para implantação do uso automotivo da GNC nos transportes no âmbito do PLANGÁS, bem como determina o estudo das possibilidades da utilização do GNC em táxis;

Em que pese todas as medidas, o programa sofreu grande resistência por parte dos empresários donos de frotas de ônibus, que alegavam que a autonomia dos veículos ficava comprometida, que os veículos dedicados ao uso exclusivo do Gás Natural não tinham valor comercial de revenda fora das poucas áreas abastecidas por gasodutos, que o preço do combustível era pouco atrativo (aproximadamente 80% do preço do óleo diesel) e principalmente que o custo benefício da conversão não justificava sua adoção.

Além disso, por força de resolução governamental, a distribuição do GNV, neste período, só poderia ser realizada por empresas de distribuição de combustíveis 100% nacionais, fato que reduzia a abrangência do programa e o potencial inicial de oferta do produto.

#### **4.2 A RETOMADA DO USO DO GÁS NATURAL COMO COMBUSTÍVEL**

No início da década de 90, em decorrência das dificuldades registradas nos anos 80, o governo, através de uma série de medidas, procurou viabilizar o uso do Gás Natural em outros segmentos do transporte rodoviário.

**Portaria n.º 107 - 13/05/91:** MINFRA, autoriza o uso do Gás Natural em:

- frotas de ônibus urbanos e interurbanos;
- frotas cativas de serviços públicos;
- veículos de transporte de cargas. Autoriza as companhias distribuidoras de combustíveis a distribuição de Gás Natural para fins automotivos.

**Portaria nº 222 - 04/10/91:** MINFRA, libera o uso do GNC em táxis, desde que em volume equivalente ao usado em substituição ao Diesel; .

**Portaria nº 29, de 07/11/91:** DNC (MINFRA) - Autoriza as companhias distribuidoras de combustíveis a distribuição de Gás Natural, fornecido pelas empresas distribuidoras de gás canalizado ou por empresa estatal concessionária, para fins automotivos em postos de abastecimento.

**Em 1991 é inaugurado o primeiro posto público de abastecimento de Gás Natural Veicular no Brasil**, localizado na Av. Brasil, em Bonsucesso, no Rio de Janeiro (Posto Brasil Grande – de bandeira Ipiranga);

**Lei nº 10.950, de 24/01/91** – Prefeitura de São Paulo. Determina a conversão ou substituição de todos os ônibus do Município por Gás Natural até o ano 2001 (sem estabelecer cronograma).

**Portaria nº 553 - 25/09/92:** MME, autoriza a utilização do GNC para fins automotivos em frotas de ônibus urbanos e interurbanos, em táxis, em frotas cativas de empresas e de serviços públicos e em veículos de transporte de cargas; Autoriza distribuidores de combustíveis a também distribuir Gás Natural para fins automotivos.

**Lei nº 8.723, de 28/10/93** – Presidência da República - Dispõe sobre a redução dos níveis de monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio, hidrocarbonetos poluentes nos veículos comercializados no País. Incentivo e priorização – combustíveis de baixo potencial poluidor.

**Resolução nº 775, de 25/11/93** – Denatran - Licenciamento mediante apresentação do Certificado de Homologação, expedido por instituto técnico credenciado pelo INMETRO, aos veículos convertidos para o uso do Gás Natural.

**Decreto nº 38.789 de 17/06/94** – Governo do Estado de São Paulo - Instituição do Programa de Inspeção e Manutenção de Veículos em uso.

**Lei nº 11.603, de 12/07/94** – Prefeitura de São Paulo - Dispõe sobre a utilização do Gás Natural como combustível na frota de veículos oficiais, de transporte público e coletivo de passageiros. (Decretada a adoção do GNV para a frota de veículos da PMSP em 13/06/96).

**Norma NBR-12.236 da ABNT** – Associação Brasileira de Normas Técnicas (fevereiro de 94) revisão da NB-1.257, denominada “Critérios de projeto, montagem e operação de postos de gás combustível comprimido” aplicável a todos os postos de abastecimento de GNV.

**Portaria do INMETRO nº 201** (18 de outubro de 94): estabelece quais as especificações que os Sistemas de medição utilizados na comercialização de gás combustível comprimido, para abastecimento de veículos automotores, devem ser atendidas.

**A Norma NBR 11.353, de maio/1995:** “Veículos rodoviários convertidos para uso de Gás Natural Veicular (GNV)”, bem como seus documentos complementares citados nesta, fixa as condições exigíveis na conversão de veículos rodoviários, fabricados originalmente para uso de álcool, gasolina e diesel.

**INMETRO** - O Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO), do Ministério de Indústria, Comércio e Turismo (MICT), iniciou em 1984 os estudo referentes ao uso do GNV em Veículos. Devem ser observadas as seguintes regulamentações técnicas, publicadas nas portarias nº 74 e 75 do MICT, de 13/05/96; Portaria INMETRO 143 e 145 de 10/10/95.

- RTQ-33 – Avaliação da capacitação técnica de convertedor de veículo para o uso do Gás Natural Veicular.
- RTQ-37 – Inspeção de Veículo convertido ao uso do Gás Natural Veicular.
- Resolução 775 de 10/11/93 – INMETRO – Dispõe sobre a alteração das características de veículos e utilização de combustíveis.

**Decreto do Presidente da República, nº 1787 - 12/01/96:** autoriza a utilização de GNC em veículos automotores e motores estacionários, nas regiões onde o referido combustível for disponível, obedecidas as normas e procedimentos estabelecidos pelo DNC;

**Lei nº 12.140, de 05/07/96** – Prefeitura de São Paulo - Estabelece cronograma para a conversão ou substituição dos ônibus do Município por Gás Natural: -1997 e 1998 – 5% da frota ao ano -1999 em diante – 10% da frota ao ano (no ano de 2008, 100% da frota de ônibus à GNV).

**Portaria do Ministério das Minas e Energia nº20** (12 de janeiro de 96): trata do exercício das atividades, construção e operação de Postos Revendedores de gás natural veicular, os quais deverão observar as normas estabelecidas pelo DNC, bem como as normas de segurança e proteção ao meio ambiente.

**Portarias do INMETRO nº74 e nº75** (13 de maio de 96): aprova o Regulamento Técnico da Qualidade nº37 – “Inspeção de veículo Convertido ao uso de Gás Metano Veicular” e o Regulamento Técnico da Qualidade nº33 – “Avaliação da Capacitação Técnica do Convertedor de Veículo para o uso de Gás Metano Veicular”, respectivamente.

**Portaria do INMETRO nº 32** (24 de março de 1997): aprova o “Regulamento Técnico Metrológico”, estabelecendo as condições mínimas a que devem satisfazer os medidores de gás automotivo (dispensers) utilizados nas medições de massa que envolvem atividades de comercialização de Gás Natural automotivo.

**Em 1997, é publicado o Código Brasileiro de Trânsito**, que prevê, em seu artigo nº106, a exigência do Certificado de Segurança para licenciamento e registro, expedido por instituição técnica credenciada por órgão ou entidade de metrologia legal.

**Resolução nº25 do CONTRAN** (21 de maio de 98): estabelece e regulamenta a exigência do Certificado de Segurança Veicular para veículos com características alteradas.

**Lei do Governo do Estado do Rio de Janeiro nº3335** (29 de dezembro de 99): estabelece cotas reduzidas (1%) para o Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores (IPVA) no Estado do Rio de Janeiro, caso o veículo use gás natural ou energia elétrica.

**Norma NBR-11.353/1 ABNT** – Associação Brasileira de Normas Técnicas (dezembro de 1999) revisão da NB-1.257, denominada “Veículos rodoviários – Instalações de Gás Metano Veicular – GMV Parte 1 – Requisitos de Segurança”.

**Portaria do Ministério de Minas e Energia nº 003** (17 de fevereiro de 2000): determina os preços máximos do gás natural de produção nacional para venda as empresas concessionárias de gás canalizado.

**Portaria do INMETRO nº 198** (10 de agosto de 2000): estabelece que os cilindros destinados ao armazenamento de gás metano veicular, de fabricação nacional ou importados, para a comercialização no país, deverão ser compulsoriamente certificados no âmbito do Sistema Brasileiro de Certificação – SBC.

**Portaria do INMETRO nº 199** (10 de agosto de 2000): estabelece que as empresas de requalificação dos cilindros destinados ao armazenamento de gás metano veicular, para executarem seus serviços, deverão ser compulsoriamente certificados no âmbito do Sistema Brasileiro de Certificação – SBC.

**Portaria 243 - 18/10/2000** – Agencia Nacional de Petróleo – ANP Regulamenta as atividades de Distribuição e Comercialização de Gás Natural Comprimido – GNC.

**Lei 3.123 – 14/11/2000** – Prefeitura do Rio de Janeiro - Estabelece obrigatoriedade de utilização de Gás Natural nos Táxis do Município do Rio de Janeiro )

**Portaria do INMETRO nº278** (28 de dezembro de 2000): prorroga até 30 de junho de 2001 os prazos vigentes nas portarias do INMETRO nº 198 e nº 199.

**Decreto n.º 19392 – 01/01/2001** – Prefeitura do Rio de Janeiro - Estabelece que os Postos têm que ter Gás Natural Veicular, sempre que existentes possibilidades técnicas.

**Portaria n.º 32 – 06/03/2001** – Agencia Nacional de Petróleo – ANP - Regulamenta o exercício da atividade de Revendedor Varejista de Gás Natural Veicular – GNV em Posto Revendedor que comercialize exclusivamente este combustível.

**Resolução CONAMA nº273** (08 de janeiro de 2001): estabelece as condições para a construção (e desativação) de postos revendedores, postos de abastecimento, instalações do sistema retalhista e postos flutuantes de combustíveis.

**Portaria do INMETRO nº003** (16 de janeiro 2001): aprova o regulamento técnico de cilindros de liga leve para armazenamento de gás metano circular.

**Portaria da Agência Nacional de Petróleo nº32** (06 de março de 2001): regulamenta o exercício da atividade varejista de Gás Natural Veicular em posto revendedor.

**Portaria do INMETRO nº 74** (29 de maio de 2001): aprova regulamento técnico que estabelece os requisitos mínimos para a produção de cilindros de armazenamento de GNV a bordo de veículos automotores.

**Portaria do DETRAN do Rio Grande do Sul** (18 de junho de 2001): discorre sobre os procedimentos a serem seguidos pelos proprietários de veículos que desejarem utilizar GNV e determina a necessidade de porte de um selo para o veículo convertido a gás natural no momento do abastecimento.

**Portaria da Agência Nacional do Petróleo nº101** (26 de junho de 2001): estabelece as tarifas de transporte de referência para o cálculo dos preços máximos dos gás natural de produção nacional para vendas à vista às empresas concessionárias de gás canalizado a partir de 1º de julho de 2000.

**Portaria do INMETRO nº132** (18 de setembro de 2001): aprova o regulamento técnico da qualidade para registros do instalador de sistemas de gás natural em veículos rodoviários automotores.

**Portaria do INMETRO nº150** (22 de novembro de 2001): aprova o regulamento técnico de qualidade para inspeção de veículos rodoviários automotores com sistemas de gás natural veicular.

**Resolução CONAMA nº291** (25 de outubro 2001): estabelece critérios para regulamentar os kits para conversão de veículos para o uso do gás natural, considerando as prescrições do PROCONVE – Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores.

**Portaria do INMETRO nº33** (13 de março de 2002): aprova o regulamento técnico de componentes do sistema para gás natural veicular.

**Portaria do INMETRO nº102 e 103** (20 de maio de 2002): aprova os regulamentos técnicos de qualidade para registro de sistemas de gás natural veicular em veículos automotores e para a inspeção de veículos rodoviários automotores com sistemas de gás natural, RTQ-33 e RTQ-37.

**Portaria do INMETRO nº105** (20 de maio de 2002): estabelece a avaliação da conformidade compulsória dos cilindros para alta pressão e armazenamento de gás metano veicular como combustível a bordo de veículos automotores.

**Portaria do INMETRO nº122** (21 de junho 2002): estabelece que todos os veículos rodoviários automotores, quando tiverem instalado um sistema de gás natural veicular, deverão ser identificados com o selo gás natural veicular, após inspeção de segurança veicular executada por entidade credenciada pelo INMETRO.

Desde de 1º de outubro de 2002, os veículos que estão sendo convertidos, em estabelecimentos autorizados pelo INMETRO, têm o Selo Gás Natural Veicular. Os proprietários de veículos, que instalaram o sistema de GNV antes desta data, têm até 30 de setembro de 2003 para legalizar a situação de seus veículos. Através do convênio firmado entre a ANP e o INMETRO, esta primeira deverá publicar uma portaria no ano de 2003, que estabelece que os postos de abastecimento de GNV só poderão vender o combustível aos veículos que tiveram o selo.

**Portaria da ANP nº104** (08 de julho de 2002): estabelece a especificação do gás natural, de origem nacional ou importado, a ser comercializado em todo o território nacional.

**Portaria do DENATRAN nº60** (26 de novembro 2002): estabelece que a inspeção dos veículos modificados para GNV ( e outros veículos que sofreram alterações) poderá ser feita por entidades públicas ou paraestatais, desde que autorizadas pelo INMETRO. Estas entidades, portanto, poderão atestar o cumprimento da legislação de trânsito vigente, especialmente quanto ao quesito de segurança.

Somente a partir destas medidas, o programa de gás natural brasileiro iniciou seu desenvolvimento efetivo. Viabilizou-se, então, o gás natural como combustível alternativo (seja para o álcool, a gasolina ou até mesmo para o diesel), em função das suas qualidades, do seu preço competitivo, reservas e aspectos positivos em relação ao meio ambiente.

A conversão para o gás natural tornou-se, então, extremamente atrativa para os proprietários de táxis. A demanda pelo combustível passou a ter um ritmo de crescimento constante, estimulando investimentos na abertura de novas estações de abastecimento nas cidades do Rio de Janeiro e de São Paulo.

A maior parte dos investimentos no programa de gás natural automotivo é proveniente do capital privado, especialmente das companhias distribuidoras de petróleo. Ao contrário do pró-álcool que foi criado, desenvolvido e controlado totalmente pelo governo.

O uso do Gás Natural Veicular (GNV), no Brasil, está apenas começando. Com a liberação para veículos particulares no inicio de 1996, a criação do rodízio estadual em 1997 (São Paulo), o qual os veículos GNV estão isentos, a Lei Municipal n.º 3.123 de novembro/2000 que determina que os táxis da Cidade do Rio de Janeiro sejam a Gás Natural, o programa brasileiro poderá ser conduzido para valores bem maiores que os atuais.

A expectativa é que o gás natural veicular possa alcançar sua viabilidade técnica e econômica, também, para o uso no transporte coletivo urbano de passageiros do país.

## ANEXO II – TARIFA DE TRANSPORTE

Atualmente, os custos com combustível já respondem por mais de 25% do custo total do serviço de transporte urbano de passageiros, sendo que, historicamente, esses custos giravam em torno dos 10% (FETRANSPO, 2006). Ao mesmo tempo em que esses custos cresceram, o transporte urbano vem sofrendo com a perda de demanda de passageiros. Ano a ano, em função do preço das tarifas estar muito acima da capacidade de pagamento da imensa maioria da população de baixa renda dependente do transporte público, conforme se verifica na figura abaixo, inúmeras pessoas tem deixado de se transportar o que também contribui para o aumento do custo final da tarifa de transporte<sup>262</sup>.

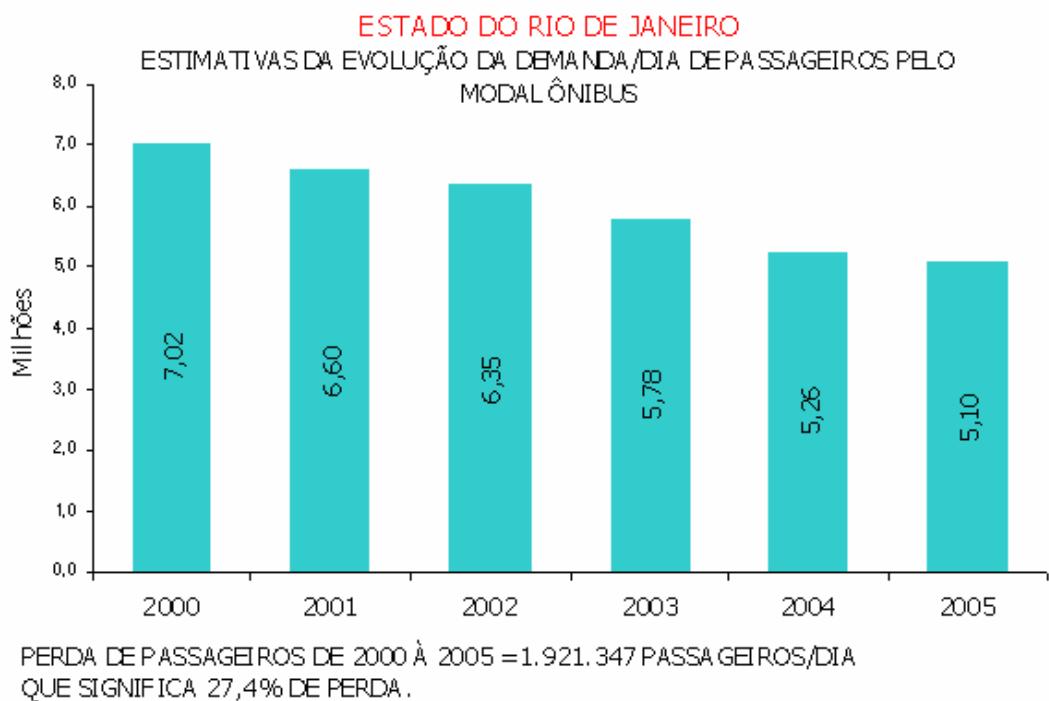


Figura 62: Evolução da demanda de passageiros, modal ônibus – Rio de Janeiro.

Uma política de utilização do gás natural no transporte urbano poderia vir a contribuir de alguma maneira para se atingir o objetivo social do barateamento das

<sup>262</sup> Os dados do gráfico são válidos para o Estado do Rio de Janeiro, todavia são similares àqueles que se possam utilizar sobre o contexto nacional.

tarifas de transporte. Seria bastante razoável voltar-se aos níveis históricos do custo com combustível no setor (10%, no máximo, do custo total). Essa medida permitiria uma redução imediata das tarifas de ônibus urbanas, favorecendo milhões de pessoas de baixa renda que dependem do transporte para se deslocarem em suas atividades.

O cálculo da tarifa do transporte por ônibus urbano possui metodologia própria de cálculo a qual foi desenvolvida e Atualizada pelo /grupo de Trabalho instituído pela portaria N° 644/MT, de 9 de julho de 1993, do Ministério dos Transportes, com o objetivo de elaborar uma metodologia de cálculo da tarifa de ônibus urbano, orientadora para os municípios brasileiros (BRASIL, 1994).

Este texto trará de forma resumida os pré-requisitos básicos para o cálculo da tarifa do transporte urbano por ônibus mais utilizada atualmente no país.

Pode-se considerar a **tarifa** (valor da passagem) como o **rateio** do custo total do serviço de transporte entre os usuários pagantes, sendo necessário, então, para o seu cálculo, o conhecimento dos seguintes elementos (BRASIL, 1994) :

- número de passageiros transportados
- quilometragem percorrida
- custo quilométrico

Para o cálculo do **custo quilométrico** deve-se considerar a soma dos **custos variáveis** com os **custos fixos** (BRASIL, 1994).

Os custos variáveis são aqueles que mudam em função da quilometragem percorrida pela frota, e são subdivididos em:

- peças e acessórios
- lubrificantes
- combustível
- material de rodagem

Os custos fixos são os gastos que independem da quilometragem percorrida e se subdividem nos seguintes itens de cálculo:

## CUSTO DE CAPITAL

- depreciação
- remuneração

## DESPESAS COM PESSOAL

## DESPESAS ADMINISTRATIVAS

O custo total e final do serviço de transporte corresponderá à soma das parcelas citadas acima (custo variável e custo fixo) acrescidas dos tributos cobrados na localidade, tais como ISS, PIS, CONFINS, taxas e etc (BRASIL, 1994).

A relação dos insumos básicos é extremamente necessária para a visualização da complexa metodologia de cálculo da tarifa de transporte. A tabela abaixo nos trás a relação completa destes insumos, os quais serão analisados quanto ao seu potencial impacto sobre o valor final da tarifa.

Tabela 75: Insumos tarifários

<b>INSUMOS BÁSICOS</b>	
1-	Preço de um litro de combustível
2-	Preço de um pneu novo para veículo leve
3-	Preço de um pneu novo para veículo pesado
4-	Preço de um pneu novo para veículo especial
5-	Preço de uma recapagem para veículo leve
6-	Preço de uma recapagem para veículo pesado
7-	Preço de uma recapagem para veículo especial
8-	Preço de uma câmara de ar para um veículo leve
9-	Preço de uma câmara de ar para um veículo pesado
10-	Preço de uma câmara de ar para um veículo especial
11-	Preço de um protetor para veículo leve
12-	Preço de um protetor para veículo pesado
13-	Preço de um protetor para veículo especial
14-	Preço ponderado de um chassi novo para veículo leve
15-	Preço ponderado de um chassi novo para veículo pesado
16-	Preço ponderado de um chassi novo para veículo especial
17-	Preço ponderado de uma carroceria nova para veículo leve

18- Preço ponderado de uma carroceria nova para veículo pesado
19- Preço ponderado de uma carroceria nova para veículo especial
20- Salário-base mensal de motorista
21- Salário-base mensal de cobrador
22- Salário-base mensal de fiscal/despachante
23- Benefício mensal total [1]
24- Remuneração mensal total de diretoria [2]
25- Despesa anual (Frota total) com seguro de responsabilidade civil [3]
26- Despesa anual com seguro obrigatório por veículo
27- Despesa anual (Frota Total) com IPVA [4]

Fonte: (BRASIL, 1994)

[1] Soma dos benefícios pagos pelas empresas operadoras por decisão judicial ou que tenham aval do órgão gerencial local.

[2] Remuneração efetivamente paga aos diretores de empresas operadoras. Valores sujeitos à aprovação do órgão de gerência local.

[3] Prêmio de seguro efetuado mediante aprovação do órgão de gerência local.

[4] Quando não houver isenção.

A relação entre os insumos e as parcelas de cálculo dos custos fixos e dos custos variáveis pode indicar o caminho da real relação existente entre a introdução de um energético alternativo e sua verdadeira influência no valor final da tarifa de transporte. Segue abaixo, então, a relação entre os insumos e as parcelas dos custos fixos e dos custos variáveis.

## CUSTOS VARIÁVEIS

### COMBUSTÍVEL:

- INSUMO 1

### LUBRIFICANTE:

- INSUMO 1

### RODAGEM:

- INSUMOS 2, 5, 8, 11, 3, 6, 9, 12, 4, 7, 10, 13

### PEÇAS E ACESSÓRIOS :

- INSUMOS 14, 15, 16, 17, 18, 19

## CUSTOS FIXOS

### CUSTOS DE CAPITAL

#### DEPRECIAÇÃO DO VEÍCULO:

- INSUMOS 14, 17, 2, 8, 11, 15, 18, 3, 9, 12, 16, 19, 4, 10, 13

#### DEPRECIAÇÃO DE MÁQUINAS:

- INSUMOS 14, 17

#### REMUNERAÇÃO DO VEÍCULO

- INSUMOS 14, 17, 2, 8, 11, 15, 18, 3, 9, 12, 16, 19, 4, 10, 13

#### REMUNERAÇÃO DE MÁQUINAS

- INSUMOS 14, 17

#### REMUNERAÇÃO DO ALMOXARIFADO

- INSUMOS 14, 17, 15, 18, 16, 19

#### DESPESAS COM PESSOAL

- INSUMOS: 20, 21, 22, 23, 24

#### DESPESAS ADMINISTRATIVAS

- INSUMOS 14, 17, 24, 27

#### TRIBUTOS

#### -TODOS OS CABÍVEIS

Pode-se compreender a verdadeira relação do uso do gás natural no transporte coletivo e a tarifa de transporte quando se percebe, também, que, além do custo do energético em si, temos outros custos igualmente impactantes, os quais precisam, também, serem introduzidos.

De forma resumida observa-se que o uso de um energético alternativo estende-se pela avaliação não apenas do custo do combustível em si (litros ou m<sup>3</sup>), mas por outros custos tais como: custo da tecnologia (veículos), custo de peças e acessórios, custo de mão de obra especializada. Dessa maneira faz-se intervenção nas seguintes parcelas do custo total da tarifa:

#### COMBUSTÍVEL

#### LUBRIFICANTES

#### PEÇAS E ACESSÓRIOS

#### DEPRECIAÇÃO DO VEÍCULO

#### DEPRECIAÇÃO DE MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS

#### REMUNERAÇÃO DO VEÍCULO

**REMUNERAÇÃO DE MÁQUINAS, INSTALAÇÕES E EQUIPAMENTOS  
REMUNERAÇÃO DO ALMOXARIFADO  
DESPESAS ADMINISTRATIVAS**

Todos os itens acima possuem alguma dependência com os insumos básicos associados a combustível ou custo da tecnologia (custo dos veículos). Porém algumas dessas parcelas poderão ser retiradas do cálculo devido à sua falta de sua correlação lógica com os custos da nova alternativa energética. Podem ser retirados da lista acima as parcelas: lubrificantes, depreciação de máquinas e equipamentos, remuneração de máquinas e instalações, remuneração do almoxarifado e despesas administrativas. É razoável dizer que estas parcelas estejam se utilizando dos insumos básicos de nosso interesse apenas como referência para seu cálculo final. Não há relação lógica entre estas e o custo final da tarifa devida à substituição do óleo diesel por gás natural veicular. Sendo assim, estabeleceram-se as parcelas abaixo como aquelas que sofrerão real influência quanto aos custos de uma inovação tecnológica e energética.

**COMBUSTÍVEL  
PEÇAS E ACESSÓRIOS  
DEPRECIAÇÃO DO VEÍCULO  
REMUNERAÇÃO DO VEÍCULO**

Vale a pena lembrar que a parcela associada ao custo de peças e acessórios também foi incluída devido a sua dependência com os insumos 14, 17, 15, 18, 16, 19 (preço de chassi e de carroceria). Como pode ser observado, a definição do custo de peças e acessórios está sendo estimada com base no custo da tecnologia veicular utilizada (chassi e carroceria). Sabe-se que o custo, no Brasil, de peças e acessórios para veículos com tecnologia veicular para gás natural ainda é bem superior aos da tecnologia veicular diesel.

Segundo dados fornecidos pela FETRANSPOR, pode-se identificar na tabela abaixo a composição dos custos tarifários do transporte por ônibus intermunicipal do Estado do Rio de Janeiro.

Tabela 76 : Composição da tarifa intermunicipal – Rio de Janeiro

<b>Parcelas</b>	<b>Composição</b>
Combustível	24,56%
Lubrificantes	3,32%
Rodagem	4,73%
Peças	5,36%
Depreciação	8,30%
Remuneração	5,63%
Pessoal	38,40%
Despesas administrativas	3,87%
Despesas Gerais	2,54%
Seguro Obrigatório, Licenciamento	0,17%
IPVA	0,51%
Taxas de Vistoria do DETRO	0,65%
ICMS sobre a Frota	1,80%
PIS, CONFINS	4,03%
Custo Total / Km	100%

Fonte : (FETRANSPOR, 2006)

Como pode ser observado o custo total tarifário é uma soma comum entre as parcelas aqui apresentadas. A alteração dos pesos associados a cada uma das parcelas pode ser realizada, desde que o objetivo seja a redução do valor final da tarifa. A inserção do gás natural como combustível alternativo, em substituição ao diesel, deverá contemplar, também, os possíveis e reais impactos relacionados ao preço final da tarifa de transporte público por ônibus. Este é um estudo que poderia ser desenvolvido a partir dos resultados apresentados por esta dissertação. O gás natural, se viável economicamente, poderia ser utilizado como impulsionador de uma política pública direcionada à redução do preço final da tarifa de transporte em grandes cidades brasileiras.

### **ANEXO III – METODOLOGIAS E VARIÁVEIS DE CÁLCULO DAS VIABILIDADES ECONÔMICAS**

#### **VARIÁVEIS**

A1 – número de ônibus Dedicados convertidos por ano  
A2 – número de ônibus Dual Fuel convertidos por ano  
A3 – número de ônibus Ottolizados convertidos por ano

B1 – autonomia em km/dia  
B2 – autonomia em km/l de um ônibus diesel  
B3 – autonomia em km/m<sup>3</sup> de um ônibus Dual Fuel  
B4 – autonomia em km/m<sup>3</sup> de um ônibus Ottolizado  
B5 – autonomia em km/m<sup>3</sup> de um ônibus Dedicado

C – taxa de substituição de gás natural do ônibus Dual Fuel

D1 – vida útil máxima permitida de um ônibus em anos  
D2 – dias úteis em um mês  
D3 – dias comuns em um mês (todos os dias do mês : D4 > D3)  
D4 – dias comuns no ano  
D5 – dias totais de uma vida útil do ônibus (D5= D1 \*365 dias)  
D6 – dias úteis totais de uma vida útil de um ônibus (D6=12 \* D2 \* D1)

E1 – preço do diesel  
E2 – preço do gás natural fornecido pela CEG  
E3 – preço do gás natural no mercado varejista  
E4 – preço do gás natural a 55% do preço do diesel  
E5 – custo do serviço de compressão por m<sup>3</sup>  
E6 – preço do gás natural final com custo de compressão

F1 – investimento inicial veicular Dual Fuel por ano  
F2 – investimento inicial veicular Ottolizado por ano  
F3 – investimento inicial veicular Dedicado por ano  
F4 – investimento inicial veicular Dual Fuel por veículo  
F5 – investimento inicial veicular Ottolizado por veículo  
F6 – investimento inicial veicular Dedicado por veículo

G1 – custo com infra-estrutura de compressão Tipo 1  
G2 – custo com infra-estrutura de compressão Tipo 2  
G3 – custo com infra-estrutura Tipo 1 por veículo inserido (está sendo considerada a inserção de 80 veículos referenciais Dedicados)  
G4 – custo com infra-estrutura Tipo 2 por veículo inserido (está sendo considerada a inserção de 80 veículos referenciais Dedicados)  
H1 – taxa de juros ao anual  
H2 – taxa de juros ao mensal  
H3 – taxa de juros ao dia

I1 – custo de manutenção de ônibus a diesel no ano 1  
I2 – custo de manutenção de ônibus a diesel no ano 2  
I3 – custo de manutenção de ônibus a diesel no ano 3  
I4 – custo de manutenção de ônibus a diesel no ano 4

- I5 – custo de manutenção de ônibus a diesel no ano 5  
I6 – custo de manutenção de ônibus a diesel no ano 6  
I7 – custo de manutenção de ônibus a diesel no ano 7  
I8 – custo de manutenção de ônibus a diesel na vida útil em valor presente, sem taxa de desconto  
I9 – custo de manutenção de ônibus a diesel na vida útil em valor presente, com taxa de desconto
- I10 – custo de manutenção da tecnologia Dual por ano  
I11 – custo de manutenção da tecnologia Dual na vida útil, em valor presente, sem taxa de desconto  
I12 – custo de manutenção da tecnologia Dual na vida útil, em valor presente, com taxa de desconto
- I13 – custo de manutenção da tecnologia Ottolizada por ano  
I14 – custo de manutenção da tecnologia Ottolizada na vida útil, em valor presente, sem taxa de desconto  
I15 – custo de manutenção da tecnologia Ottolizada na vida útil, em valor presente, com taxa de desconto
- I16 – custo de manutenção da tecnologia Dedicada por ano  
I17 – custo de manutenção da tecnologia Dedicada na vida útil, em valor presente sem taxa de desconto  
I18 – custo de manutenção da tecnologia Dedicada na vida útil, em valor presente com taxa de desconto
- J1 – consumo de diesel por dia útil  
J2 – consumo de diesel por dia comum  
J3 – consumo de diesel por mês  
J4 – consumo de diesel por ano  
J5 – consumo de diesel na vida útil (dias comuns: incluindo domingos e feriados)
- J6 – consumo de gás do Dual Fuel por dia útil  
J7 – consumo de gás do Dual Fuel por dia comum  
J8 – consumo de gás do Dual Fuel na vida útil (dias comuns: incluindo domingos e feriados)  
J9 – consumo de diesel do Dual Fuel por dia útil  
J10 – consumo de diesel do Dual Fuel por dia comum  
J11 – consumo de diesel do Dual Fuel na vida útil (dias comuns: incluindo domingos e feriados)  
J12 – consumo de gás do Ottolisado por dia útil  
J13 – consumo de gás do Ottolisado por dia comum  
J14 – consumo de gás do Ottolisado na vida útil (dias comuns: incluindo domingos e feriados)
- J15 – consumo de gás do Dedicado por dia útil  
J16 – consumo de gás do Dedicado por dia comum  
J17 – consumo de gás do Dedicado na vida útil (dias comuns: incluindo domingos e feriados)
- L1 – receita líquida total em valor presente, com taxa de desconto – Dual Fuel  
L2 – receita líquida total em valor presente, com taxa de desconto – Ottolizado  
L3 – receita líquida total em valor presente, com taxa de desconto – Dedicado  
L4 – receita líquida em valor presente da receita dos veículos do primeiro ano de operação – Dual Fuel

L5 – receita líquida em valor presente da receita dos veículos do primeiro ano de operação – Ottolizado

L6 – receita líquida em valor presente da receita dos veículos do primeiro ano de operação – Dedicado

L7 – receita líquida em valor presente da receita dos veículos do segundo ano de operação – Dual Fuel

L8 – receita líquida em valor presente da receita dos veículos do segundo ano de operação – Ottolizado

L9 – receita líquida em valor presente da receita dos veículos do segundo ano de operação – Dedicado

L10 – receita líquida em valor presente da receita dos veículos do terceiro ano de operação – Dual Fuel

L11 – receita líquida em valor presente da receita dos veículos do terceiro ano de operação – Ottolizado

L12 – receita líquida em valor presente da receita dos veículos do terceiro ano de operação – Dedicado

L13 – receita líquida em valor presente da receita dos veículos do quarto ano de operação – Dual Fuel

L14 – receita líquida em valor presente da receita dos veículos do quarto ano de operação – Ottolizado

L15 – receita líquida em valor presente da receita dos veículos do quarto ano de operação – Dedicado

L16 – receita líquida total sem taxa de desconto – Dual Fuel

L17 – receita líquida total sem taxa de desconto – Ottolizado

L18 – receita líquida total sem taxa de desconto – Dedicado

M1 – conta em reais de diesel por dia útil

M2 – conta em reais de diesel por dia comum (será menor que CRDDV)

M3 – conta em reais de diesel na vida útil, em valor presente, sem taxa de desconto

M4 – conta em reais de diesel na vida útil, em valor presente, com taxa de desconto

N1 – conta de diesel do Dual Fuel por dia útil

N2 – conta de gás do Dual Fuel por dia útil

N3 – conta total de combustível do Dual Fuel por dia útil

N4 – conta total de combustível do Dual Fuel por dia comum

N5 - conta de gás e de diesel do Dual Fuel na vida útil, em valor presente sem taxa de desconto

N6 - conta de gás e de diesel do Dual Fuel na vida útil, em valor presente com taxa de desconto

O1 – conta de gás do Ottolizado por dia útil

O2 – conta de gás do Ottolizado por dia comum

O3 – conta de gás do Ottolizado na vida útil, em valor presente, sem taxa de desconto

O4 – conta de gás do Ottolizado na vida útil, em valor presente, com taxa de desconto

P1 – conta de gás do Dedicado por dia útil

P2 – conta de gás do Dedicado por dia comum

P3 – conta de gás do Dedicado na vida útil, em valor presente, sem taxa de desconto

P4 – conta de gás do Dedicado na vida útil, em valor presente, com taxa de desconto

Q1 – economia com combustível do Dual Fuel, em valor presente na vida útil, em valor presente, sem taxa de desconto

Q2 – economia com combustível do Dual Fuel, em valor presente na vida útil, em valor presente, com taxa de desconto, para veículos inseridos no primeiro ano de operação

Q2 – economia com combustível do Dual Fuel, em valor presente na vida útil, em valor presente, com taxa de desconto, para veículos inseridos no segundo ano de operação

Q2 – economia com combustível do Dual Fuel, em valor presente na vida útil, em valor presente, com taxa de desconto, para veículos inseridos no terceiro ano de operação

Q2 – economia com combustível do Dual Fuel, em valor presente na vida útil, em valor presente, com taxa de desconto, para veículos inseridos no quarto ano de operação

Q3 – economia com combustível do Ottolizado, em valor presente na vida útil, sem taxa de desconto

Q4 – economia com combustível do Ottolizado, em valor presente na vida útil, com taxa de desconto, para veículos inseridos no primeiro ano de operação

Q4 – economia com combustível do Ottolizado, em valor presente na vida útil, com taxa de desconto, para veículos inseridos no segundo ano de operação

Q4 – economia com combustível do Ottolizado, em valor presente na vida útil, com taxa de desconto, para veículos inseridos no terceiro ano de operação

Q4 – economia com combustível do Ottolizado, em valor presente na vida útil, com taxa de desconto, para veículos inseridos no quarto ano de operação

Q5 - economia com combustível do Dedicado, em valor presente na vida útil, sem taxa de desconto

Q6 - economia com combustível do Dedicado, em valor presente na vida útil, com taxa de desconto, para veículos inseridos no primeiro ano de operação

Q6 - economia com combustível do Dedicado, em valor presente na vida útil, com taxa de desconto, para veículos inseridos no segundo ano de operação

Q6 - economia com combustível do Dedicado, em valor presente na vida útil, com taxa de desconto, para veículos inseridos no terceiro ano de operação

Q6 - economia com combustível do Dedicado, em valor presente na vida útil, com taxa de desconto, para veículos inseridos no quarto ano de operação

**R1 – CUSTO DE OPORTUNIDADE DA REVENDA DO ÔNIBUS A DIESEL**

**R2 – CUSTO DE OPORTUNIDADE DA REVENDA DO ÔNIBUS A DIESEL EM VALOR PRESENTE**

## VIABILIDADE PARA 1 VEÍCULO – PREÇO DO GÁS NO MERCADO VAREJISTA – SEM TAXA DE DESCONTO

### DUAL FUEL

$$L16 = A2^{263} * (L4)$$

$$L4 = Q1 - F4 - I11$$

$$Q1 = M3 - N5$$

$$M3 = J5 * E1$$

$$J5 = J2 * D5$$

$$J2 = B1/B2$$

$$D5 = 365 * D1$$

$$N5 = N4 * 365 * D1$$

$$N4 = N3 * (D6/D5)$$

$$N3 = N1 + N2$$

$$N1 = J9 * E1$$

$$J9 = (B1/B3) * (1 - C)$$

$$N2 = J6 * E3$$

$$J6 = (B1/B3) * C$$

$$I11 = I10 * 7$$

### OTTOLIZADO

Metodologia semelhante à apresentada para o Dual Fuel, diferindo-se apenas quanto à falta da parcela equivalente ao N1 da equação  $N3 = N1 + N2$ . A parcela equivalente ao termo N1 não existirá, uma vez que o veículo Ottolizado não consome diesel em sua operação.

---

<sup>263</sup> Este valor será igual a 1, pois estamos avaliado neste modelo a inserção de apenas 1 veículos de cada rota tecnológica.

## **DEDICADO**

A metodologia de cálculo é semelhante à apresentada para o Dual Fuel. Há a redução da parcela equivalente ao N1, como citado, também, para o Ottolizado. Há a inserção de uma nova parcela só existente para a rota Dedicada a saber: o Custo de Oportunidade da revenda do ônibus a diesel. As equações principais para o Dedicado seriam, então:

$$L18 = A1^* (L6) \quad ; \quad L6 = Q1 - F4 - I11 - R1$$

### **VIABILIDADE PARA 1 VEÍCULO – PREÇO DO GÁS NO MERCADO VAREJISTA – COM TAXA DE DESCONTO**

Mesma metodologia anterior. Considera-se agora a aplicação de taxa de desconto para trazer todos os valores do fluxo de caixa da avaliação a valor presente.

### **VIABILIDADE PARA 1 VEÍCULO – PREÇO DO GÁS A 55% DO PREÇO DO DIESEL – SEM TAXA DE DESCONTO**

Mesma metodologia aplicada apresentada acima. Muda-se apenas o valor do preço do gás natural de E3 para E4.

### **VIABILIDADE PARA 1 VEÍCULO – PREÇO DO GÁS A 55% DO PREÇO DO DIESEL – COM TAXA DE DESCONTO**

Mesma metodologia. Considera-se agora a aplicação de taxa de desconto.

## VIABILIDADE PARA UMA FROTA DE 80 VEÍCULOS – PREÇO DO GÁS FORNECIDO PELA CEG – 20 VEÍCULOS / ANO

Na avaliação de inserção de frotas todos os cálculos consideram taxa de desconto ao comparar valores presentes dos investimentos e economias gerados pelo processo de substituição do diesel pelo gás natural através das diferentes rotas tecnológicas estudadas.

### Dedicado

$$L3 = L6 + L9 + L12 + L15$$

$$L6 = Q6 - (A1 * F6) - A1 (I18^{264} - I9) - (A1 * R2) - (A1 * G3 * 4^{265})$$

$$Q6 = A1 * (M4 - P4)$$

$$L9 = (Q6 - (A1 * F6) - A1 (I18 - I9) - (A1 * R2)) * (1 - H1)$$

$$L12 = (Q6 - (A1 * F6) - A1 (I18 - I9) - (A1 * R2)) * ((1 - H1) * (1 - H1))$$

$$L15 = (Q6 - (A1 * F6) - A1 (I18 - I9) - (A1 * R2)) * ((1 - H1) * (1 - H1) * (1 - H1))$$

### Dual Fuel

Mesma metodologia. Todavia existirá consumo de diesel na avaliação desta rota tecnológica. Não existirá a parcela  $(A1 * R2)$ , pois não se aplica custo de oportunidade para as tecnologias Dual Fuel e de Ottolização. Haverá mudanças quanto ao número de veículos inseridos por ano para esta tecnologia. O número de veículos a serem inseridos por ano dependerá do capital inicial investido na tecnologia Dedicada, somando-se os custos com capital veicular e os custos com infra-estrutura de compressão. Sendo assim, o número de veículos a serem inseridos por ano com a tecnologia Dual será:

$$A2 = (A1 * (F6 + G3)) / (F4 + G3)$$

---

<sup>264</sup> I18 está definido nos capítulos da dissertação como sendo 200% superior a I9.

<sup>265</sup> Multiplica-se por 4 (quatro) pois serão inseridos 80 veículos dedicados em quatro anos consecutivos.

## **Ottolizado**

VALEM AS MESMAS CONSIDERAÇÕES FEITAS PARA O DUAL FUEL. TODAVIA, COM O OTTOLIZADO PASSA-SE A NÃO TER NENHUM CONSUMO DE DIESEL.

Para todos os demais cenários de viabilidade econômica (inserção de frotas) propostos valem-se da metodologia e variáveis apresentadas

## ANEXO IV – EVOLUÇÃO DO PREÇO DO ÓLEO DIESEL E DO GÁS NATURAL NO BRASIL

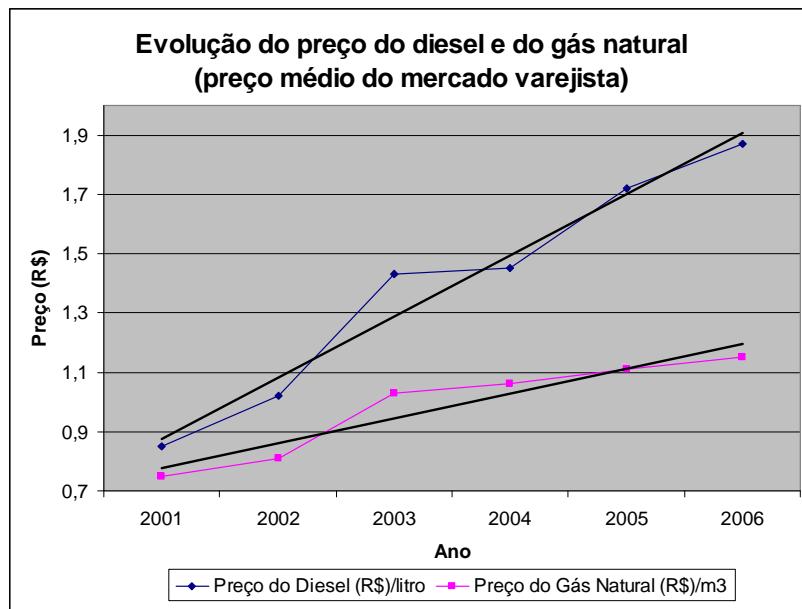
Os valores apresentados pelas tabelas foram extraídos do anuário estatístico da ANP, em 2006. Os dados são referentes aos preços médios dos combustíveis na região sudeste do país.

Tabela 77: Evolução do preço do óleo diesel e do gás natural no mercado varejista

ANO	Diesel (R\$)	Gás Natural (R\$)	Diferencial <sup>266</sup> %
2001	0,85	0,75	13,3
2002	1,02	0,81	25,9
2003	1,43	1,03	38,8
2004	1,45	1,06	36,8
2005	1,72	1,11	54,9
2006	1,85	1,15	60,9

Fonte: (ANP, 2005A; ANP, 2005B)

A distância (diferencial) entre o preço do gás natural e o preço do diesel vem aumentando ano a ano. O gráfico abaixo ilustra a inclinação das curvas de tendência para a evolução do preço do diesel em comparação ao preço do gás natural nos últimos 6 anos.



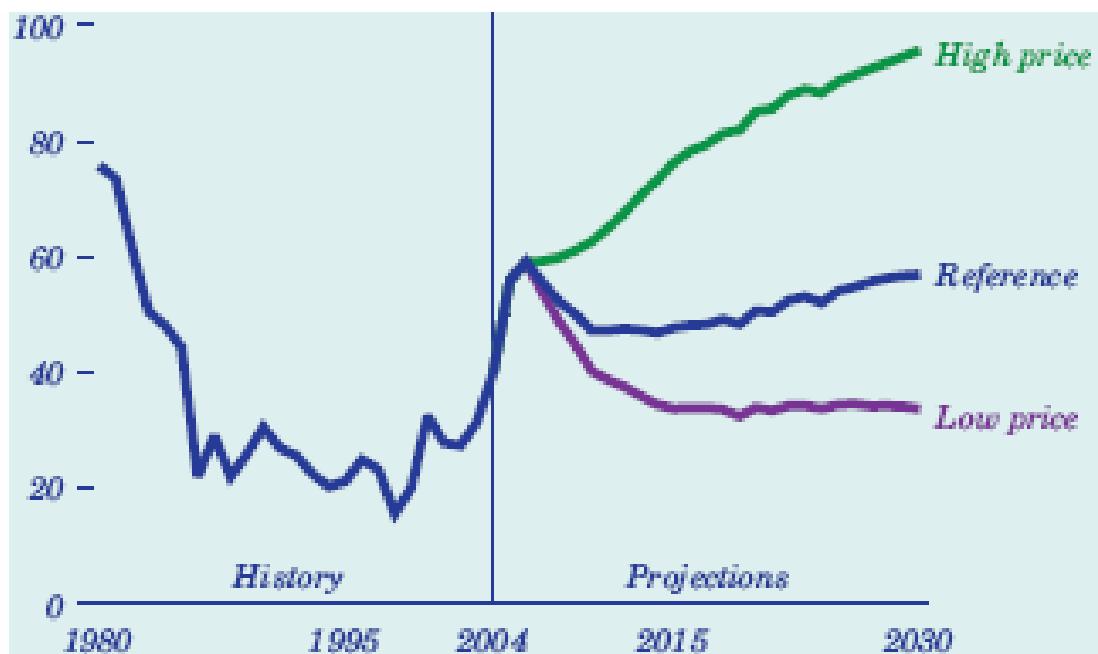
Fonte: (ANP, 2005A; ANP, 2005B)

Figura 63: Gráfico da evolução do preço do óleo diesel e do gás natural no mercado varejista

<sup>266</sup> O diferencial é calculado considerando o preço do gás natural como referencial.

Os coeficientes de inclinação das curvas têm se mostrado bastante diferentes. O distanciamento entre os preços dos combustíveis parece elevar-se a cada ano. A manutenção destes coeficientes de inclinação das curvas acima haverão de contribuir para a viabilização econômica do gás natural no transporte coletivo urbano de passageiros.

As projeções do preço do petróleo no mercado internacional foram feitas e apresentadas pelo EIA em três cenários distintos.

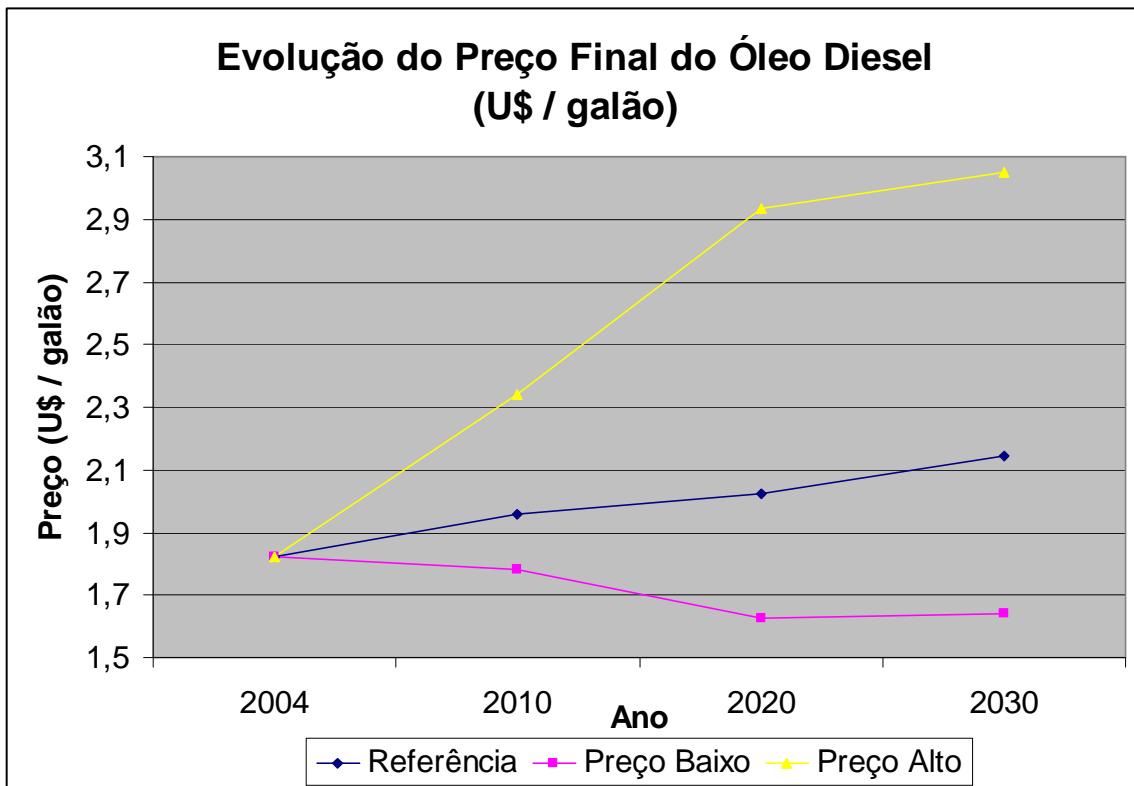


Fonte: (DOI/EIA, 2006)

Figura 64: Gráfico da evolução do preço do petróleo no mercado internacional

Para um cenário moderado de referência o petróleo estaria cotado em 50 dólares por barril, em 2015. Já em cenário considerado de alto preço do petróleo teríamos, em 2015, o petróleo cotado em 80 dólares o barril. Com base nestes preços podemos estimar o possível preço final do óleo diesel para os dois cenários citados acima.

Para o preço final do óleo diesel, o EIA também projetou três cenários distintos até o ano de 2030. Vide figura abaixo:



Fonte: (EIA, 2006)

Figura 65: Gráfico da evolução do óleo diesel no mercado internacional

Em cenário de alto preço, para o ano de 2010, o óleo diesel custaria aproximadamente 29% mais caro do que o preço do óleo diesel praticado no Brasil em 2004. Para o cenário de referência o aumento seria de apenas 9%, também em relação ao ano de 2010 comparado com 2004.

Aplicando as projeções das curvas acima para o cenário brasileiro de 2004 teríamos as seguintes projeções do preço final do óleo diesel no Brasil, até 2030.

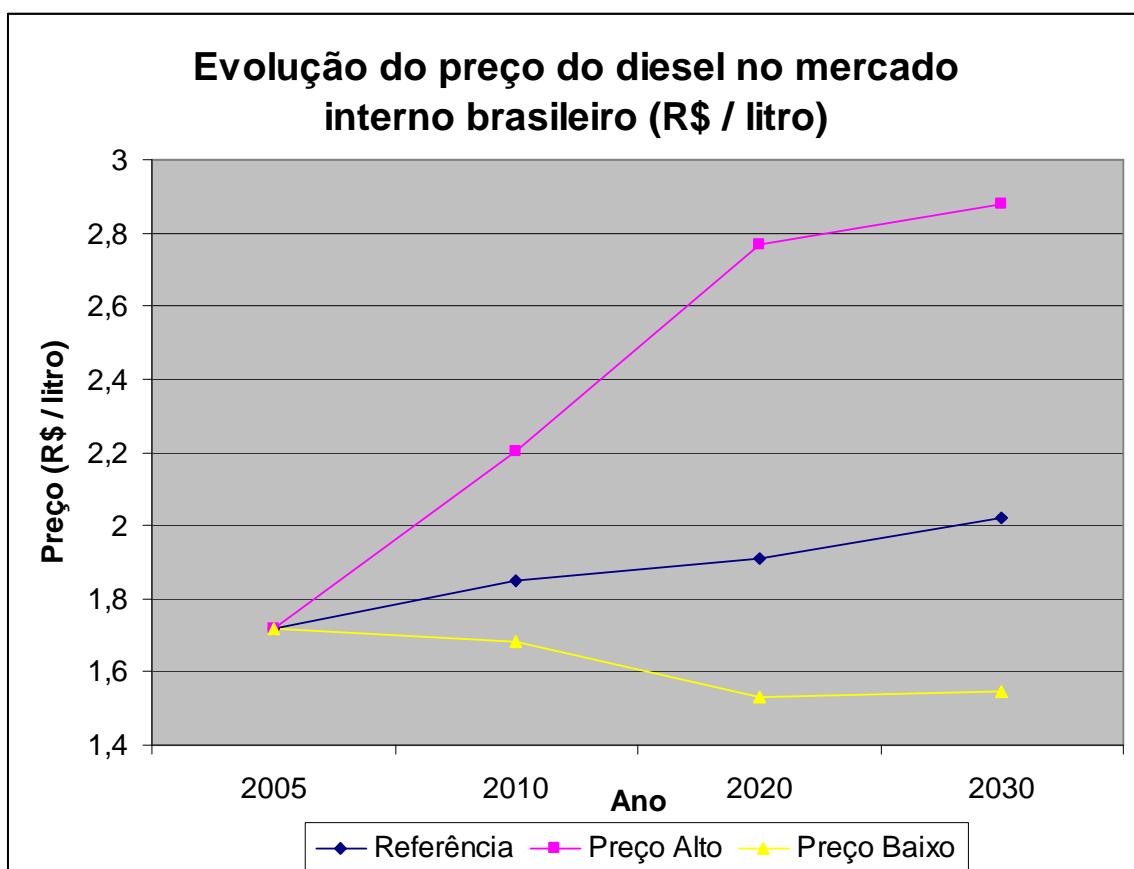


Figura 66: Gráfico da evolução do óleo diesel no mercado internacional<sup>267</sup>

<sup>267</sup> Adaptado e aplicado ao preço interno do óleo diesel. Adaptado de DOI/EIA (2006).