

Pós-Graduação em
Desenvolvimento Sustentável

**Fatores incidentes no uso de tecnologias capazes de
reduzir as emissões de ônibus e caminhões no Brasil.**

Fernando Nonato da Silva
Dissertação de Mestrado

Brasília – DF, dezembro/2008



Universidade de Brasília
Centro de Desenvolvimento Sustentável

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
CENTRO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Fatores incidentes no uso de tecnologias capazes de reduzir as emissões de ônibus e caminhões no Brasil.

Fernando Nonato da Silva

Orientador: Tirso Walfrido Sáenz Sanchez

Dissertação de Mestrado

Brasília – DF, dezembro/2008

Silva, Fernando Nonato.

Fatores incidentes no uso de tecnologias capazes de reduzir as emissões de ônibus e caminhões no Brasil / Fernando Nonato da Silva

Brasília, 2008.

261 p.: il.

Dissertação de mestrado. Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília, Brasília.

1. Tecnologias. 2. Poluentes Atmosféricos. 3. Transporte rodoviário. I. Universidade de Brasília. CDS.
- II. Título.

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação e emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem a autorização do autor.

Assinatura

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
CENTRO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Fatores incidentes no uso de tecnologias capazes de reduzir as emissões de ônibus e caminhões no Brasil.

Fernando Nonato da Silva

Dissertação de Mestrado submetida ao Centro de Desenvolvimento Sustentável da Universidade de Brasília, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Grau de Mestre em Desenvolvimento Sustentável, área de concentração em Política e Gestão de Ciência e Tecnologia, opção profissionalizante.

Aprovado por:

Tirso Walfrido Sáenz Sanchez, Doutor (UNB)
(Orientador)

João Nildo de Souza Vianna, Doutor (UNB)
(Examinador Interno)

Paulo César Gonçalves Egler, Doutor (UNB)
(Examinador Externo)

Brasília – DF, 15 dezembro de 2008

Dedico este trabalho a todos que ajudaram a construí-lo, em especial minha maravilhosa esposa Renata Vernay, minha linda mãe Lourdes Maria e meu sábio orientador Tirso Saenz.

AGRADECIMENTOS

Os que crêem sabem que não existe outra forma racional de enunciar agradecimentos sem começar por aquele que é o único Deus, Senhor e Salvador: obrigado Jesus Cristo, muito obrigado por tudo Senhor.

Agradeço também de todo meu coração às pessoas que considero especiais e que de alguma forma colaboraram para que esse trabalho se tornasse realidade, como:

Os grandes especialistas que, mesmo diante da escassez de tempo e das inúmeras dificuldades, compartilharam seus preciosos conhecimentos nos encontros, nas ligações e no preenchimento dos questionários.

As pessoas que de alguma forma cooperaram para que os encontros com os especialistas se tornassem realidade, providenciando agendas, intermediando encontros e me orientando nos contatos a fazer.

Meu admirável orientador por sua sabedoria, direção e capacidade de observar além daquilo que sou capaz.

Os professores João Nildo e Paulo Egler por aceitarem participar da banca e pelas preciosas contribuições.

Os professores do CDS que fizeram parte dessa trajetória durante as aulas e os constantes debates em sala.

Os funcionários do CDS pelo apoio essencial para que o curso e esse trabalho fossem concluídos.

Minha mãe querida por todo amor, dedicação e ensinamentos que me conduziram até aqui.

Minha amada Renata, que suportou a distância das viagens, a ausência nos compromissos, mas acima de tudo, sempre me deu forças para prosseguir.

Por fim, àqueles que por sua imensurável colaboração tomo a liberdade de chamá-los de amigos e que não poderia deixar de mencionar seus nomes: Tereza Pantoja, Carlos Eduardo, Hugo Miranda, Carlos Zundt, Alessandro Depetris, Danny Aronson, Luso Ventura, Andre Oliveira e Marco Antonio.

Os méritos que porventura decorram deste trabalho pertencem a cada um de vocês.

Muito obrigado.

RESUMO

Os ônibus e caminhões são veículos que emitem grandes quantidades de poluentes nocivos ao homem e ao meio ambiente. Apesar de todo movimento ambiental e do surgimento de tecnologias capazes de reduzir as emissões desses veículos, como filtros, combustíveis e motores, as mudanças ainda são pouco percebidas. Identificar os fatores que incidem sobre o uso de tecnologias menos poluentes para ônibus e caminhões no Brasil foi o problema de pesquisa deste trabalho. Para identificar as origens do problema foi realizada pesquisa histórica da formação do setor de transporte rodoviário e das políticas públicas relacionadas, além do levantamento das tecnologias disponíveis para uso. A partir dessas atividades foram realizadas entrevistas com especialistas, que permitiram identificar os fatores que incidem sobre o uso de tecnologias menos poluentes, sob o ponto de vista deles. Antes de concluir foi possível identificar que além dos fatores apresentados pelos especialistas e aqueles disponíveis na literatura, existem outras questões associadas ao problema: os fatores motivadores. O estudo identificou quatro fatores: mercado, risco de colapso, meio ambiente e saúde. A conclusão alcançada é que somente eliminar as barreiras não é suficiente. Para que as tecnologias sejam inseridas, um ou mais fatores motivadores precisam ser estimulados. Nesse sentido, Estado e sociedade têm papel central para iniciar o processo de transformação, um com políticas públicas e o outro com conscientização.

Palavras-chave: tecnologias, poluentes atmosféricos, transporte rodoviário.

ABSTRACT

Buses and trucks are vehicles that emit large quantities of pollutants that are harmful to humans and the environment. Despite all the environmental movement and the emergence of technologies capable of reducing emissions of these vehicles, like filters, fuels and engines, changes are still poorly understood. Identifying the factors that relate to the use of cleaner technologies for buses and trucks in Brazil was the problem of this research. A historical research training in the sector of road transport and public policy related was carried out to identify the origins of the problem, in addition to the lifting of the technologies available for use. From these activities were carried out interviews with experts, which helped to identify the factors that affect the use of cleaner technologies, from their point of view. Before concluding that it was possible to identify factors in addition to those presented by the experts available in the literature, there are other issues associated with the problem: the motivating factors. The study identified four factors: market, risk of collapse, environment and health. The conclusion reached is that only remove the barriers is not enough. To that technology is inserted, one or more motivating factors need to be stimulated. In this sense, state and society are central to start the process of transformation, with a public policy and the other with awareness.

Key words: technology, air pollutants, road transport.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 – CICLO DO MOTOR OTTO	37
FIGURA 2 – CICLO DO MOTOR DIESEL	39
FIGURA 3 – PROCESSO TÍPICO DE UMA REFINARIA DE PETRÓLEO	44
FIGURA 4 – DISTRIBUIÇÃO DAS RESERVAS PROVADAS DE GÁS NATURAL EM 2005.....	62
FIGURA 5 – FLUXO SIMPLIFICADO DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE COMBUSTÍVEIS SINTÉTICOS A PARTIR DO GN.	63
FIGURA 6 – FLUXO SIMPLIFICADO DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DO ETANOL VIA ROTA FERMENTATIVA A PARTIR DA CANA DE AÇÚCAR.....	71
FIGURA 7 – FLUXO SIMPLIFICADO DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DO ETANOL PELO MÉTODO DHR.....	72
FIGURA 8 – FLUXO SIMPLIFICADO DE PRODUÇÃO DE ÉSTERES ETÍLICO A PARTIR DE ÓLEOS VEGETAIS E GORDURA ANIMAL UTILIZANDO ETANOL.....	77
FIGURA 9 – PERCENTUAIS DE MISTURA DO BIODIESEL AO DIESEL CONVENCIONAL	78
FIGURA 10 – APARÊNCIA DO DIESEL EMULSIFICADO (ESQUERDA) EM COMPARAÇÃO COM O DIESEL CONVENCIONAL (DIREITA).....	135
FIGURA 11 – SISTEMA DE REDUÇÃO CATALÍTICA SELETIVA.....	139
FIGURA 12 – PROCESSO GENÉRICO DE CONVERSÃO XTL (GTL, CTL OU BTL).....	141
FIGURA 13 – ESTÁGIO DE UTILIZAÇÃO DO BIODIESEL NO MUNDO.....	144
FIGURA 14 – PROCESSO SIMPLIFICADO DE OBTENÇÃO DO DME.....	149
FIGURA 15 – SISTEMA INJETOR DOS ÔNIBUS A GNL.....	155
FIGURA 16 – VIAS DE OBTENÇÃO DO HIDROGÊNIO.	157
FIGURA 17 – FLUXO BÁSICO DE UMA CÉLULA DE ELETRÓLISE.....	158
FIGURA 18 – OPERAÇÃO DE UMA CÉLULA DE COMBUSTÍVEL A HIDROGÊNIO.	160
FIGURA 19 – ESQUEMA BÁSICO DE UM VEÍCULO ELÉTRICO.	166
FIGURA 20 – TRÓLEBUS CONECTADOS A UMA REDE DE FORNECIMENTO DE ENERGIA. ...	167
FIGURA 21 – SISTEMA HÍBRIDO DE PROPULSÃO COM CONFIGURAÇÃO EM SÉRIE.....	168
FIGURA 22 – SISTEMA HÍBRIDO DE PROPULSÃO COM CONFIGURAÇÃO EM PARALELO.....	169
FIGURA 23 – PROCESSO SIMPLIFICADO DE PRODUÇÃO DO BIODIESEL E DO BH-BIO.....	177

LISTA DE TABELAS

TABELA 1– COMPARAÇÃO ENTRE MOTORES DIESEL E OTTO.....	39
TABELA 2 – CONTEÚDO E DENSIDADE ENERGÉTICA DE COMBUSTÍVEIS.	41
TABELA 3 – PORCENTAGEM EM MASSA DOS ELEMENTOS CONTIDOS NO PETRÓLEO.....	43
TABELA 4 - RESERVAS PROVADAS DE PETRÓLEO (VINTE MAIORES – EM BILHÕES DE BARRIS).	49
TABELA 5 – FATORES MÉDIOS DE EMISSÃO DE VEÍCULOS EM USO NA REGIÃO METROPOLITANA DE SP EM 2007.	56
TABELA 6 – EMISSÕES DE CO ₂ NO BRASIL PELO SETOR DE TRANSPORTES POR TIPO DE COMBUSTÍVEL (1990 – 1994 EM GG).	57
TABELA 7 – COMPOSIÇÃO DO GÁS NATURAL EM DIVERSOS PAÍSES.	61
TABELA 8 – VOLUME FABRICADO PELOS DEZ MAIORES PRODUTORES DE ETANOL DO MUNDO (MILHÕES DE M ³).	73
TABELA 9 – EMISSÕES RESULTANTES DE DIVERSOS EXPERIMENTOS COM BIODIESEL.	79
TABELA 10 – ESTIMATIVA DE EMISSÃO DAS FONTES DE POLUIÇÃO DO AR NA RMSP EM 2007.....	92
TABELA 11 – ESTIMATIVA MÉDIA DE EMISSÃO POR VEÍCULO NA RMSP EM 2007 (KG/ANO)..	92
TABELA 12 – PREVISÃO DE INVESTIMENTOS EM INFRA-ESTRUTURA LOGÍSTICA NO BRASIL, 2007-2010.	97
TABELA 13 – PREVISÃO DE INVESTIMENTOS EM PETRÓLEO, GÁS E BIOCMBUSTÍVEIS....	102
TABELA 14 – PERCENTUAL DO PIB INVESTIDO EM C&T NO BRASIL (1981 – 1991).	109
TABELA 15 – PERCENTUAL DO PIB INVESTIDO EM C&T NO BRASIL (2000 E 2005).....	111
TABELA 16 – INVESTIMENTOS PREVISTOS NO PLANO DE AÇÃO DO MCT PARA CADA PROGRAMA (R\$ MILHÕES).	112
TABELA 17 – INVESTIMENTOS PREVISTOS NO PLANO DE AÇÃO DO MCT PARA CADA PROGRAMA DA ÁREA DE PETRÓLEO E GÁS NATURAL (R\$ MILHÕES).	113
TABELA 18 – VENDA DE VEÍCULOS A GASOLINA E ÁLCOOL NO BRASIL ENTRE 1975 E 1996.	117
TABELA 19 – LIMITES DE EMISSÕES PARA VEÍCULOS PESADOS CICLO DIESEL E OTTO.	121
TABELA 20 – LIMITES DE EMISSÕES PARA NOVOS VEÍCULOS PESADOS A DIESEL A SEREM COMERCIALIZADOS NO BRASIL.	123
TABELA 21 – RESULTADOS DO PROGRAMA ECONOMIZAR (1996 A 2005).	124
TABELA 22 – RESULTADOS DO PROJETO TRANSPORTAR ATÉ MARÇO DE 2008.....	125
TABELA 23 – EMISSÕES DE ÔNIBUS A METANOL E A DIESEL.	147
TABELA 24 – FROTA MUNDIAL DE VEÍCULOS MOVIDOS A GÁS NATURAL, ATÉ JUNHO DE 2007.....	175
TABELA 25 – MÉDIA DE PREÇOS DE ÔNIBUS PARA O TRANSPORTE URBANO NOS ESTADOS UNIDOS.....	188
TABELA 26 – BARREIRAS PARA O USO DE VEÍCULOS COM COMBUSTÍVEIS ALTERNATIVOS	212

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – DATA DE DESCOBERTA DOS PRIMEIROS POÇOS DE PETRÓLEO EM ALGUNS PAÍSES.....	47
QUADRO 2 – TECNOLOGIAS REDUTORAS DA EMISSÃO DE NOX, CO, COV E MP, CUSTOS, BENEFÍCIOS E OUTRAS INFORMAÇÕES.	137
QUADRO 3 – PROJETOS COM VEÍCULOS PESADOS UTILIZANDO CÉLULAS DE COMBUSTÍVEL.	162
QUADRO 4 – COMPARAÇÃO ENTRE MOTORES ELÉTRICOS DE CORRENTE CONTÍNUA E CORRENTE ALTERNADA.....	165
QUADRO 5 – FATORES QUE DIFICULTAM OU IMPEDEM O USO DE TECNOLOGIAS MENOS POLUENTES PARA VEÍCULOS.....	214

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 – PRODUÇÃO DE ÔNIBUS NO BRASIL (1957 – 2007).	32
GRÁFICO 2 – PRODUÇÃO DE ÔNIBUS NO BRASIL POR TIPO DE COMBUSTÍVEL (1957 – 2007).	33
GRÁFICO 3 – PRODUÇÃO DE CAMINHÕES NO BRASIL (1957 – 2007).	34
GRÁFICO 4 – PRODUÇÃO DE CAMINHÕES NO BRASIL POR TIPO DE COMBUSTÍVEL (1957 – 2007).	35
GRÁFICO 5 – PERCENTUAL DE REGISTRO DE NOVOS VEÍCULOS A DIESEL NA EUROPA, 1990- 2007.....	36
GRÁFICO 6 – PRODUTOS OBTIDOS A PARTIR DE UM BARRIL DE PETRÓLEO.....	45
GRÁFICO 7 – CONSUMO MUNDIAL DE ENERGIA POR FONTE EM 2005 (MTOE).....	45
GRÁFICO 8 – CONSUMO DE PETRÓLEO POR SETOR, 1971 – 2005 (MTOE).....	46
GRÁFICO 9 – PRODUÇÃO, IMPORTAÇÃO E CONSUMO DE PETRÓLEO - $10^3 M^3$ (1970 – 2006).	48
GRÁFICO 10 – RESERVAS PROVADAS DE PETRÓLEO – $10^6 M^3$ (1974 – 2006).....	50
GRÁFICO 11 – CONSUMO MUNDIAL DE GASOLINA EM 2001.....	52
GRÁFICO 12 – PRODUÇÃO E CONSUMO DE GASOLINA NO BRASIL (1970 – 2006)	52
GRÁFICO 13 – EMISSÕES DE VEÍCULOS LEVES A GASOLINA TIPO C (PRÉ 1980 – 2007).	53
GRÁFICO 14 – PERCENTUAL DO REFINO DE UM BARRIL DE PETRÓLEO POR TIPO DE PRODUTO.....	54
GRÁFICO 15 – PRODUÇÃO, IMPORTAÇÃO, CONSUMO E EXPORTAÇÃO DE DIESEL - $10^3 M^3$ (1970 – 2006).	55
GRÁFICO 16 – CONSUMO MUNDIAL DE COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS, 1950 – 2000.....	58
GRÁFICO 17 – CONSUMO MUNDIAL DE PETRÓLEO E CARVÃO MINERAL POR SETOR EM 2005.	58
GRÁFICO 18 – CONSUMO MUNDIAL DE CARVÃO MINERAL, 1971 – 2005 (MTOE).	59
GRÁFICO 19 – RESERVAS MUNDIAIS DE CARVÃO NO FINAL DE 2005 (BILHÕES DE TONELADAS).....	60
GRÁFICO 20 – CONSUMO MUNDIAL DE GÁS NATURAL POR SETOR, 1971 – 2005 (MTOE).	63
GRÁFICO 21 – FROTA MUNDIAL DE VEÍCULOS MOVIDOS A GÁS NATURAL, ATÉ JUNHO DE 2007.....	64
GRÁFICO 22 – RESERVAS BRASILEIRAS PROVADAS DE GÁS NATURAL, 1964 – 2007 (BILHÕES DE M^3).	64
GRÁFICO 23 – PRODUÇÃO DE GLP NO MUNDO EM MILHÕES DE TONELADAS (2000 – 2005).	65
GRÁFICO 24 – DISTRIBUIÇÃO DA PRODUÇÃO MUNDIAL DE GLP EM 2003.	66
GRÁFICO 25 – DISTRIBUIÇÃO MUNDIAL DO USO DE GLP EM 2007.	67
GRÁFICO 26 – CONSUMO NACIONAL DE GLP (EM TEP).	67
GRÁFICO 27 – PRODUÇÃO DE ETANOL (ÁLCOOL ETÍLICO) EM MIL M^3 (1970 – 2006).	74
GRÁFICO 28 – MÉDIA DAS EMISSÕES DE VEÍCULOS <i>FLEX</i> UTILIZANDO ÁLCOOL E GASOLINA (GRAMA/LITRO).	74
GRÁFICO 29 – PRODUÇÃO NACIONAL DE BIODIESEL EM M^3 (2005 – 2008).	79
GRÁFICO 30 – COMPORTAMENTO DA MALHA FERROVIÁRIA E RODOVIÁRIA BRASILEIRA (1967 – 2000).	85

GRÁFICO 31 – PERCENTUAL DO CONSUMO DE ENERGIA POR SETOR NO BRASIL, ANO 2007.	86
GRÁFICO 32 – DISTRIBUIÇÃO DO TRANSPORTE DE CARGAS POR MODAL NO BRASIL, 1952 – 2000 (T/KM).....	86
GRÁFICO 33 – DISTRIBUIÇÃO DO TRANSPORTE DE PASSAGEIROS POR MODAL NO BRASIL, 1952 – 2000 (PASSAGEIROS/QUILÔMETRO).....	87
GRÁFICO 34 – PARTICIPAÇÃO DOS MODAIS NO TRANSPORTE DE PASSAGEIROS NO BRASIL EM 2006.	88
GRÁFICO 35 – PERCENTUAL DE CONSUMO DE ENERGIA POR MODAL DE TRANSPORTE NO BRASIL, ANO 2007.	88
GRÁFICO 36 – CONSUMO FINAL DE ENERGIA POR FONTE NO BRASIL, 1970 – 2006 (10 ⁶ TEP).	89
GRÁFICO 37 – CONSUMO DE DERIVADOS DE PETRÓLEO POR SETOR NO BRASIL, 1970 – 2006 (10 ⁶ TEP).....	89
GRÁFICO 38 – PERCENTUAL DO CONSUMO DE DIESEL POR SETOR NO BRASIL (1970 – 2006).	90
GRÁFICO 39 – CONSUMO DE DIESEL POR MODAL DE TRANSPORTE NO BRASIL (1970 – 2006).	90
GRÁFICO 40 – PERCENTUAL DE CONSUMO DE COMBUSTÍVEIS PELO SETOR DE TRANSPORTES BRASILEIRO (1970 – 2006).	91
GRÁFICO 41 – INVESTIMENTOS EM INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTE NO BRASIL (1990 – 1998).	96
GRÁFICO 42 – PRODUÇÃO NACIONAL DE AUTOMÓVEIS – CARROS (1957 – 2007).	98
GRÁFICO 43 – PREÇO DO BARRIL DE PETRÓLEO, 1995 – 2008.....	103
GRÁFICO 44 – ESTIMATIVAS E EMISSÕES MUNDIAIS DE CO ₂ NO MUNDO POR SETOR DE TRANSPORTE.....	106
GRÁFICO 45 – O PREÇO DO BARRIL DO PETRÓLEO E A RELAÇÃO COM EVENTOS INTERNACIONAIS (1970 – 2000).	115
GRÁFICO 46 – LIMITES LEGAIS DE EMISSÕES DE NOX E MP PARA VEÍCULOS PESADOS. ...	131
GRÁFICO 47 – VOLUME DE ENXOFRE NO ÓLEO DIESEL DE DETERMINADOS PAÍSES (PARTES POR MILHÃO).....	131
GRÁFICO 48 – ESTIMATIVA DO AUMENTO DE CUSTO DO DIESEL COM BAIXO NÍVEL DE ENXOFRE.	132
GRÁFICO 49 – COMPARAÇÃO DAS EMISSÕES DOS ÔNIBUS UTILIZANDO DIESEL COM ULTRA BAIXA CONCENTRAÇÃO DE ENXOFRE PURO E MISTURADO COM ÁGUA EM 10% DO PESO.	136
GRÁFICO 50 – USO DO DIESEL E COMBUSTÍVEIS ALTERNATIVOS <i>VERSUS</i> CUSTO (CAMINHÕES EM USO NA EUROPA EM 2020).	142
GRÁFICO 51 – PRODUÇÃO EUROPÉIA DE BIODIESEL (10 ³ TONELADAS).....	143
GRÁFICO 52 – EMISSÕES E CONSUMO DE ÔNIBUS USANDO B20 E DIESEL PURO.	144
GRÁFICO 53 – EMISSÕES DE CAMINHÕES MOVIDOS A DIESEL E A ETANOL (ETANOL COM MISTURA DE 5% GASOLINA).	145
GRÁFICO 54 – CUSTOS TOTAIS DE USO DO METANOL POR VEÍCULO.	148
GRÁFICO 55 – NÚMERO DE VEÍCULOS MOVIDOS A PROPANO EM USO NOS ESTADOS UNIDOS.....	150
GRÁFICO 56 – MÉDIA DE CONSUMO DOS ÔNIBUS (POR TIPO DE COMBUSTÍVEL).	153
GRÁFICO 57 – EMISSÕES DOS CAMINHÕES POR TIPO DE COMBUSTÍVEL.	154

GRÁFICO 58 – PROPORÇÃO DE ÔNIBUS MOVIDOS A GÁS NATURAL NOS ESTADOS UNIDOS.	154
GRÁFICO 59 – PERCENTUAL DE ECONOMIA DOS ÔNIBUS A HIDROGÊNIO EM QUATRO PROJETOS NOS ESTADOS UNIDOS.....	163
GRÁFICO 60 – CUSTO DE UMA CÉLULA AUTOMOTIVA, BASEADO EM UMA PLANTA COM PRODUÇÃO DE 500 MIL UNIDADES/ANO.....	163
GRÁFICO 61 – POTENCIAL DE ECONOMIA DE COMBUSTÍVEL POR TIPO DE SISTEMA HÍBRIDO.	170
GRÁFICO 62 – RESULTADOS DA COMPARAÇÃO ENTRE ÔNIBUS DA FROTA DE VEÍCULOS DA CIDADE DE NOVA YORK QUANTO A ECONOMIA DE COMBUSTÍVEL E EMISSÃO DE NOX, MP E CO.....	171
GRÁFICO 63 – FROTA DE TRÓLEBUS EM OPERAÇÃO NA CIDADE DE SÃO PAULO DE 1948 A 2007.....	182
GRÁFICO 64 – CICLO DE VIDA DE UMA TECNOLOGIA VERSUS LUCRATIVIDADE.....	190

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- AC** – Corrente Alternada
- BTL** – Biomass to Liquid
- C&T** – Ciência e Tecnologia
- CAPES** – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
- CENPES** – Centro de Pesquisas e Desenvolvimento da Petrobrás
- CETESB** – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
- CH₄** – Metano
- CNPq** – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
- CO** – Monóxido de carbono
- CO₂** – Dióxido de carbono
- CONAMA** – Conselho Nacional de Meio Ambiente
- CTL** – Coal to Liquid
- DC** – Corrente Contínua
- DME** – Dimetil éter
- EMTU** – Empresa Metropolitana de Transportes Urbanos
- FINEP** - Financiadora de Estudos e Projeto
- GEF** – Gases de efeito estufa
- GLP** – Gás liquefeito de petróleo
- GNV** – Gás natural veicular
- GTL** – Gas to Liquid
- GV** – Gás natural
- H₂** – Hidrogênio
- HC** – Hidrocarbonetos
- IPCC** - Intergovernmental Panel on Climate Change
- MCT** – Ministério da Ciência e Tecnologia
- MP** – Material particulado
- NREL** – National Renewable Energy Laboratory
- NO_x** – Oxido de nitrogênio
- OECD** – Organisation for Economic Co-Operation And Development
- OPEP** – Organização dos Países Exportadores de Petróleo
- P&D** – Pesquisa e desenvolvimento
- PAC** – Programa de Aceleração do Crescimento
- PIB** – Produto Interno Bruto
- PPM** – Partes por milhão
- Proálcool** – Programa Nacional do Álcool
- PROCONVE** – Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores
- SO_x** – Oxido de enxofre
- ULSD** – Ultra Low Sulfur Diesel

SUMÁRIO

1.	TRANSPORTE TERRESTRE	29
1.1.	VEÍCULOS	29
1.1.1.	Ônibus.....	30
1.1.2.	Caminhão.....	33
1.1.3.	Motores.....	35
1.2.	COMBUSTÍVEIS	40
1.2.1.	Combustíveis fósseis.....	41
1.2.2.	Biocombustíveis	68
1.3.	MATRIZ DE TRANSPORTE TERRESTRE DE CARGAS E PASSAGEIROS NO BRASIL	80
1.3.1.	Processo histórico.....	80
1.3.2.	Situação atual.....	85
2.	POLÍTICAS, PROGRAMAS E LEGISLAÇÃO	94
2.1.	POLÍTICAS.....	94
2.1.1.	Política de transportes.....	95
2.1.2.	Política energética.....	100
2.1.3.	Política de meio ambiente.....	103
2.1.4.	Política de C&T.....	108
2.2.	PROGRAMAS.....	114
2.2.1.	Proálcool.....	114
2.2.2.	Programa do Biodiesel.....	118
2.2.3.	PROCONVE	120
2.2.4.	CONPET.....	123
2.2.5.	Outros programas e ações.....	125
3.	TECNOLOGIAS NO MUNDO E NO BRASIL	128
3.1.	TECNOLOGIAS EM OUTROS PAÍSES.....	129
3.1.1.	Diesel de cana-de-açúcar.....	129
3.1.2.	Diesel com ultra baixo nível de enxofre.....	130
3.1.3.	E-diesel.....	133
3.1.4.	Emulsão de água em diesel	134
3.1.5.	Sistemas de redução de emissões.....	136
3.1.6.	Além do diesel convencional.....	140
3.1.7.	Outros motores.....	164
3.2.	TECNOLOGIAS NO BRASIL.....	172
3.2.1.	O diesel nacional e as tecnologias correlatas	172
3.2.2.	MAD	174
3.2.3.	Combustíveis alternativos.....	174
3.2.4.	Além dos motores de combustão interna.....	181
4.	FATORES INCIDENTES.....	184
4.1.	FATORES SEGUNDO OS ENTREVISTADOS E A LITERATURA	185
4.1.1.	Literatura	186
4.1.2.	Especialistas.....	203
4.2.	COMPARANDO ESTUDOS.....	211
4.3.	ANALISANDO OS RESULTADOS.....	214
4.3.1.	Questões essenciais.....	215
4.4.	NOVOS FATORES.....	216
4.4.1.	Mercado.....	217
4.4.2.	Risco de colapso.....	218
4.4.3.	Questão ambiental.....	219
4.4.4.	Saúde humana.....	219
4.5.	O CASO BRASILEIRO.....	220
4.5.1.	Forças do mercado.....	221

4.5.2.	<i>Segurança energética</i>	221
4.5.3.	<i>Emissões e o meio ambiente</i>	222
4.5.4.	<i>Emissões e a saúde</i>	222
CONCLUSÕES		224

INTRODUÇÃO

A preocupação com o meio ambiente não é uma questão nova. Há muitos anos diversos países debatem a necessidade de preservar e utilizar de forma adequada os recursos naturais. A idéia de desenvolvimento sustentável, conceituada a partir do Relatório de Brundtland em 1987 (DEFRIES; MALONE, 1989, p.4), reforçou essa necessidade e desde então diversas têm sido as ações para aumentar o grupo dos países comprometidos com esse propósito.

A Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento realizada no Rio de Janeiro em 1992, conhecida como Rio-92, reforçou os princípios do desenvolvimento sustentável e foi o momento para a apresentação da Agenda 21 Global (CPDSA 21, 2004, p.5), documento que serviria de base para os demais países construírem agendas próprias, adequadas à realidade e aos problemas locais.

Passados quatro anos após a realização da conferência o Brasil iniciou a construção de sua agenda, finalizada no ano de 2002, com a participação de mais de 40 mil pessoas (MMA, 2008) e com a produção de diversos documentos contendo os objetivos, estratégias e ações necessárias para a formulação de políticas públicas capazes de promover o desenvolvimento sustentável brasileiro.

Os documentos resultantes dos debates apresentavam diretrizes para diversos temas, dentre eles o setor de transportes. Considerado relevante há muitas décadas, sob a perspectiva econômica e social, o setor de transportes, principalmente o terrestre, vem ganhando notoriedade também sob o ponto de vista ambiental. O grande consumo e dependência dos combustíveis fósseis e os impactos provocados pelo uso de veículos rodoviários despertaram a atenção para a necessidade de mudanças no setor.

A preocupação com o meio ambiente e a saúde humana em razão dos impactos do setor de transportes, consequência da emissão de poluentes atmosféricos, propiciou no final do ano de 2001 na cidade do Rio de Janeiro, sob a direção do Centro Clima¹, a realização do seminário denominado Barreiras na Implantação de Alternativas Energéticas para o Transporte Rodoviário no Brasil. O objetivo do seminário era identificar as barreiras existentes para a implantação e utilização de novas tecnologias e combustíveis alternativos no transporte rodoviário brasileiro.

¹ Centro de Estudos Integrados sobre Meio Ambiente e Mudanças Climáticas, criado por iniciativa do Ministério do Meio Ambiente e o Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia – COPPE, localizado na Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Ao final do seminário, segundo Ribeiro (2002, p.59), os analistas² que dele participaram concluíram que o baixo preço do petróleo foi o principal motivo para a redução dos investimentos em alternativas energéticas. Ainda de acordo com esses analistas, “somente uma súbita crise, com uma elevação substancial dos preços do petróleo, poderá forçar uma reestruturação radical no mercado (RIBEIRO, 2002, p.59). De forma geral, as barreiras identificadas durante o seminário para a implantação de alternativas tecnológicas foram classificadas como associadas ao mercado, tecnologia e economia. Vencer as barreiras não consistia em uma única etapa, mas para Ribeiro (2002, p.22), “o sucesso da implementação também dependerá de outros fatores associados aos interesses do poder econômico dos consumidores e da concorrência”.

O baixo preço do petróleo, em razão de sua grande oferta, desestimulou iniciativas não somente para o uso, mas para o desenvolvimento de alternativas energéticas e tecnológicas. O caso do diesel vegetal brasileiro, segundo Parente (2003, p.12), é um exemplo de alternativa energética que foi abandonada em função do baixo preço do petróleo. Especialistas concordam com essa idéia da restrição baseada no valor, como Yergin (1992, p.439), quando afirma que o baixo preço do petróleo foi responsável pelo fim de pesquisas em energias alternativas e dos combustíveis sintéticos em grande parte do mundo.

Essa visão baseada no custo do combustível é compartilhada por Brown (2003, p.127), ao dizer que a transição dos combustíveis fósseis para o uso do hidrogênio ocorrerá com a demonstração dos custos reais do petróleo. Para ele, “a introdução gradativa de um imposto de carbono para que a queima de combustíveis fósseis reflita seu custo pleno à sociedade aceleraria a transição para a energia eólica, células solares e energia geotérmica, condição necessária para a geração do hidrogênio”.

A idéia que prevalecia para esses especialistas era que, em razão do baixo preço dos combustíveis fósseis, as alternativas energéticas e tecnológicas não eram atrativas em função de seu custo. Para os analistas e participantes do seminário realizado pelo Centro Clima e para Brown a solução estava no preço e para resolvê-lo, em tese, seria necessário aumentar o custo dos combustíveis fósseis, seja por tributação ou em razão de uma crise. Dessa maneira o uso de alternativas, consideradas de custo elevado, seria viabilizado em função de sua competitividade, permitindo a inserção no mercado.

² Participaram do seminário representantes da Eletrabus, MDI Motores, Petrobras, MCT, MMA, USP, ANP, Única, pesquisadores do IVIG e outros – ver relação completa no livro Barreiras na Implantação de Alternativas Energéticas para o Transporte Rodoviário no Brasil, publicado pelo Centro Clima.

No ano de 2007 o IPCC³ divulgou o Quarto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática, trazendo um capítulo dedicado aos transportes e um subcapítulo aos combustíveis fósseis. As questões relacionadas ao setor de transportes tinham como objetivo a busca de alternativas para a redução da emissão de gases de efeito estufa (GEF) provenientes do setor. Algumas opções foram apresentadas, dentre elas a mudança de parte do transporte rodoviário para o ferroviário, o uso de biocombustíveis, o uso de alternativas energéticas e a aplicação de tecnologias para o aumento da eficiência dos veículos.

A eficácia das medidas para a redução da emissão de gases de efeito estufa dependia de ações variadas e articuladas entre os diversos atores envolvidos. Porém, diante do cenário naquele momento, já com a elevação do preço do petróleo, os especialistas entendiam que a simples idéia do aumento do custo dos combustíveis fósseis, por exemplo, não necessariamente promoveria reduções significativas das emissões (IPCC, 2007, p.23). Seriam necessárias políticas de incentivo e aplicação de instrumentos restritivos e regulatórios (IPCC, 2007, p.36) para reduzir as barreiras de implantação, estimular o uso de tecnologias e garantir a realização das ações necessárias às mudanças pretendidas.

Mesmo diante de uma série de fatores supostamente favoráveis ao uso de alternativas energéticas, como: a alta do preço do petróleo – todas as previsões foram superadas quando o barril alcançou cotação superior a US\$ 139 em julho de 2008 (OPEC, 2008) –, a disponibilidade de tecnologias para produção e uso de biocombustíveis – processo totalmente dominado pelo Brasil –, o uso em pequena escala de algumas tecnologias alternativas – como o caso dos ônibus híbridos (D’AGOSTO; RIBEIRO; PEREIRA, 2004, p.2) e dos ônibus a GNV, que tiveram uma experiência negativa na década passada, mas retomaram as experiências com resultados mais significativos em 2004 (NTU, 2004, p.13) – e o avançado estágio de desenvolvimento de estudos com alternativas energéticas – alguns até já finalizados, com produtos prontos para serem comercializados –, é possível observar que poucas mudanças ocorreram, principalmente para a inserção definitiva de combustíveis alternativos para veículos pesados, contrariando algumas das previsões.

O cenário propício para as mudanças, com o elevado preço do petróleo e o amplo debate sobre as questões ambientais, por si não foi capaz de promover transformações significativas. Não somente o Brasil, mas o mundo ainda depende do petróleo e o tem como principal fonte de energia. Algumas das tecnologias para reduzir a emissão de poluentes e gases de efeito estufa não conseguiram ganhar escala, como determinados tipos de veículos movidos a combustíveis alternativos. Outras tecnologias nem se quer entraram no

³ Intergovernmental Panel on Climate Change – órgão científico intergovernamental criado pela World Meteorological Organization (WMO) e United Nations Environment Programme (UNEP).

mercado nacional, como certos tipos de sistemas de pós-tratamento. A matriz tecnológica, principalmente para o transporte rodoviário, continua sendo baseada, quase que em sua totalidade, no petróleo. Mesmo não sendo novas, algumas criadas há décadas, a adesão em massa a essas tecnologias demonstrou ser um problema mais complexo do que se supunha.

Relevância do trabalho

A súbita elevação no preço do petróleo não conseguiu reduzir o consumo de combustíveis fósseis que, mesmo diante dessa alta, continuou apresentando índices de crescimento constante, ano a ano. Mesmo nos países mais dependentes do transporte rodoviário e da indústria automobilística, normalmente mais suscetíveis aos impactos de uma crise em razão de declínio no setor e com maiores chances de ter a economia fortemente afetada por problemas com o petróleo, podendo até provocar um efeito cascata na economia mundial (PORTO, 2006, p.119), o petróleo continua sendo a principal fonte de energia, com demanda cada vez maior⁴.

A tendência internacional de aumento no consumo do petróleo pelo setor de transportes não é diferente para o Brasil, onde o uso de combustíveis fósseis também continua crescendo, com atenção especial ao diesel. O País não é auto-suficiente em diesel (ANP, 2008a) e este é o combustível mais consumido pelo setor de transportes rodoviário de cargas e passageiros (MME, 2007a), quase em sua totalidade por ônibus e caminhões. Ainda que seja considerado elevado o atual consumo de diesel pelo setor de transporte rodoviário, algo por volta de 30 bilhões de litros por ano (MME, 2008), esse volume vem crescendo e poderá aumentar mais diante da possibilidade da maior utilização do transporte público como solução para o deslocamento de pessoas, em especial pelos constantes problemas associados ao excesso de veículos de passeio, transformando a prioridade atual do transporte individual para o coletivo (FREIRE, 2000, p.56).

Quanto ao transporte de cargas, o crescimento da produção e do volume de mercadorias comercializadas tem contribuído para consolidar a tendência de utilização de caminhões em decorrência da estagnação do transporte ferroviário, que mesmo sendo extremamente eficiente, sob o aspecto do custo e do consumo de combustíveis, não tem recebido investimentos no montante necessário à sua recuperação e expansão (COELI, 2004, p.13). O transporte ferroviário, de acordo com a situação em que se encontra, não

⁴ Recentemente houve uma redução no consumo do petróleo provocada por fatores conjunturais, ligados a crise econômica mundial. A redução está dissociada de qualquer tipo de avanço tecnológico ou de questões de mercado como preço ou a relação oferta/demanda.

demonstra ser prioridade para o País, talvez por essa razão não venha recebendo o apoio suficiente para sua reestruturação.

Consolidado o cenário de aumento da demanda para o transporte público e não ocorrendo a migração do modal rodoviário para outro na realização do transporte de cargas, um aumento significativo no consumo de diesel seria inevitável. Nesse caso, o uso de tecnologias representa a única alternativa capaz de reduzir a emissão de poluentes nocivos ao meio ambiente e à saúde humana, provenientes dos ônibus e caminhões utilizados nesse tipo de transporte. Essa opção pode promover as mudanças necessárias sem causar grandes impactos sociais ou econômicos. Entretanto, implantar tecnologias nesse segmento não é uma tarefa simples.

Assim, diante do elevado consumo de óleo diesel no Brasil, do grande impacto ambiental e dos graves danos causados à saúde humana, somados à preocupação com o aquecimento global e a necessidade da instituição de modelos de desenvolvimento sustentável, este estudo pode representar uma oportunidade para o surgimento de alternativas e soluções para os problemas apresentados. Porém, diferente das abordagens do seminário, onde foram analisadas as barreiras para a implantação de novas tecnologias, do Quarto Relatório do IPCC e da posição de alguns dos autores mencionados anteriormente, o estudo terá escopo mais restrito e ocorrerá sobre as tecnologias aplicadas aos ônibus e caminhões.

Apesar de conceitualmente o transporte terrestre ser composto por ônibus, caminhões, carros, motos, trens e outros veículos, a abordagem recairá exclusivamente sobre os dois primeiros por três razões: estes veículos são os maiores consumidores de óleo diesel no Brasil, o qual o País não é auto-suficiente; o óleo diesel é o combustível que mais emite poluentes atmosféricos e, além dos danos ambientais, provoca graves danos à saúde humana; e, por fim, a lógica que motiva e estimula a implantação de tecnologias para esses veículos parece ser diferente daquela aplicada aos demais, principalmente os leves utilizados no transporte individual. Esse é um dos motivos que demonstra a necessidade de estudar o problema de forma restrita, com foco somente nos ônibus e caminhões.

A identificação do problema e as soluções apresentadas na literatura descrita anteriormente e durante o trabalho partem de uma abordagem mais ampla, tratando o problema do transporte, dos combustíveis, das alternativas energéticas e tecnológicas como algo único, desconsiderando o tipo de veículo e sua aplicação. Existe um exercício de indução que busca transformar a lógica aplicada aos automóveis de uso individual à dos veículos de uso coletivo e de transporte de cargas, como os ônibus e caminhões. Talvez, por isso, mesmo diante das premissas e condições estabelecidas para que as mudanças ocorressem, elas ainda não se tornaram realidade.

Objetivo geral

Com base no que foi relatado, o presente estudo tem como objetivo maior contribuir com subsídio teórico para a preparação e formulação de políticas, programas e ações voltadas ao desenvolvimento sustentável do setor de transportes terrestres, a partir da resposta ao problema central, apresentado a seguir. Tendo como referência os estudos já realizados pelo Centro Clima, IPCC e diversos outros citados ao longo do estudo, o presente trabalho pretende responder ao seguinte problema de pesquisa: **Quais fatores incidem sobre o uso de tecnologias capazes de reduzir a emissão de poluentes atmosféricos de ônibus e caminhões no Brasil?**

Quando se fala em fatores incidentes, a intenção é indicar aqueles que interferem a favor ou contra o uso de tecnologias menos poluentes. Certamente que pela condição atual dominante do óleo diesel no transporte de cargas e passageiros, a incidência de fatores restritivos ou impeditivos ocupa papel de destaque. Contudo ao longo do trabalho, principalmente na fase final, será possível identificar fatores que atuam de forma impulsionadora ao uso das tecnologias menos poluentes.

O desfecho e melhor compreensão do estudo somente ocorrem em suas partes finais pela complexidade da dinâmica de uso das referidas tecnologias, algo além daquilo que se pensava ao iniciar este trabalho. Existem questões políticas, legais, econômicas, sociais, culturais e tecnológicas por trás das transformações, entretanto, o problema não pode ser respondido de maneira tão subjetiva, forma comumente encontrada em alguns trabalhos. Há uma dinâmica para a entrada dessas tecnologias no mercado, que será tratada com abordagem focada sobre ônibus e caminhões, levando em consideração o contexto nacional e o fenômeno.

Objetivos específicos

Para responder ao problema de pesquisa foram definidas algumas etapas, cada uma delas com um objetivo específico a ser alcançado. A primeira consiste em analisar e compreender o processo histórico de formação do setor de transporte terrestre no Brasil, tendo por objetivo específico analisar e entender se os fatores que incidem sobre o uso de tecnologias alternativas para ônibus e caminhões surgiram no passado e como ocorreram. O capítulo um foi desenvolvido com esse propósito e buscou mostrar como a matriz de transporte terrestre brasileira foi formada, as razões para a opção pelo modo rodoviário e seus impactos na definição e uso de combustíveis e outras tecnologias.

A segunda etapa compreende um levantamento das questões políticas e seus desdobramentos práticos. O objetivo específico desta etapa se assemelha ao primeiro, porém, com objeto de estudo diferenciado. Nesse caso a intenção é analisar e entender os

fatores incidentes sobre o uso de tecnologias que estão ligados às políticas e ações governamentais. O capítulo dois foi elaborado para apresentar o histórico político, legal e operacional do Estado Nacional, quanto ao desenvolvimento de políticas, programas, projetos, ações e leis, que de alguma forma estão relacionadas com o uso das tecnologias abordadas durante o estudo.

A terceira parte destina-se a levantar o atual estágio de desenvolvimento tecnológico do Brasil frente aos avanços mundiais. O objetivo específico desta etapa é compreender se o País dispõe de tecnologias menos poluentes em condições de serem utilizadas em ônibus e caminhões. Para atender ao objetivo proposto apresenta-se o capítulo três, orientado a levantar e identificar as tecnologias disponíveis, de forma geral, no mundo e aquilo que é produzido ou de domínio de instituições instaladas no Brasil. As tecnologias levantadas são aquelas capazes de reduzir as emissões de poluentes atmosféricos, sejam sob a forma de filtros, melhorias no processo de combustão, sistemas alternativos de propulsão ou combustíveis.

Por fim, a última etapa representa um esforço para identificar, segundo a percepção de especialistas e atores envolvidos no contexto estudado e a partir da literatura abordada, o que dificulta ou impede o uso de determinadas tecnologias. O objetivo específico é identificar os fatores que, de alguma forma, incidem sobre o uso de tecnologias menos poluentes para ônibus e caminhões no Brasil. Tomando por norte o objetivo indicado preparou-se o capítulo quatro, o qual, a partir do levantamento da percepção dos entrevistados e dos autores estudados, analisou os fatores incidentes sobre o uso de determinadas tecnologias e demonstrou o que realmente está por trás do processo de sua inserção no mercado.

Considerações

Sem entender os fatores que conduzem o desenvolvimento e a utilização das tecnologias supracitadas, quaisquer medidas para minimizar os impactos provocados pelos ônibus e caminhões podem representar nada mais que ações pontuais sem mudanças reais. O problema da poluição, do aquecimento e dos danos provocados à saúde humana pela utilização de veículos a diesel não pode ser resolvido de forma positiva sem a inserção de tecnologias alternativas. Muito provavelmente esse desafio somente será transpassado depois de compreendidos os fatores que realmente estão por trás da entrada no mercado e uso das tecnológicas.

Ao final do trabalho, tomando por base todo o conteúdo investigado e as conclusões alcançadas, serão apresentadas recomendações, algumas de caráter universal, mais amplas, capazes de serem aplicadas em outros contextos e outras mais específicas, nesse

caso, com o intuito de tornar claro como o processo de introdução de tecnologias para ônibus e caminhões pode ser conduzido no Brasil.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O presente trabalho foi desenvolvido a partir do uso conjunto de métodos, tipos de pesquisas e instrumentos, conforme serão apresentados. Segundo Lakatos e Marconi (2001, p.83) “o método é o conjunto das atividades sistemáticas e racionais que, com maior segurança e economia, permite alcançar o objetivo – conhecimentos válidos e verdadeiros – , traçando o caminho a ser seguido”. A opção pela utilização de mais de um método não foi uma escolha, mas uma necessidade, comum a alguns trabalhos de pesquisa, como já fora observado por Viegas (1999, p.159) quando afirma que “a decisão pelo tipo de pesquisa não cabe ao pesquisador porque é o estado da arte que o determina”.

Pelas características presentes no trabalho foram utilizados os métodos: histórico e comparativo, a partir de pesquisa documental indireta, que segundo Lakatos e Marconi (2001, p.174) “representa o primeiro passo de qualquer pesquisa científica”. Segundo Fachin (2003, p.39), “o método histórico consiste na investigação de fatos e acontecimentos ocorridos no passado para se verificar possíveis projeções de sua influência na sociedade contemporânea”. A necessidade de voltar ao passado não se trata de simples revisão histórica, como parte de um processo introdutório ao leitor. Na verdade trata-se de ato que tem como objetivo maior descobrir elementos contidos na história que, de alguma forma, corroboraram para a instituição do problema, neste caso, a existência de fatores incidentes no uso de tecnologias destinadas a reduzir a poluição atmosférica de ônibus e caminhões no Brasil.

No capítulo um, nesse mesmo intuito de tentar compreender o presente e as tendências a partir do passado, houve o resgate do processo de formação do setor de transporte terrestre no Brasil, a consolidação do modal rodoviário e a relação histórica do setor com os combustíveis. O trabalho de levantamento ocorreu por meio de pesquisa bibliográfica, já que “a principal vantagem da pesquisa bibliográfica reside no fato de permitir ao investigador a cobertura de uma gama de fenômenos muito mais ampla do que aquela que poderia pesquisar diretamente” (GIL, 2002, p.45).

O mesmo método denominado como histórico foi aplicado no capítulo dois, como forma de analisar as iniciativas passadas do Estado e suas instituições para fomentar a entrada de novas tecnologias ou combustíveis por meio de políticas, programas, ações e instrumentos legais. Trata-se de um levantamento realizado, principalmente, a partir de documentos oficiais, como editoriais, leis, atas, relatórios, ofícios, ordem régia (FACHIN, 2003, p.136) entre outros. Certamente a pesquisa não se limitou a materiais oficiais, mas também recorreu aos estudos e trabalhos de pesquisadores e especialistas e materiais

disponíveis em revistas, jornais, periódicos e demais fontes de informações válidas e de caráter científico.

O capítulo três, na busca de compreender o atual estágio de desenvolvimento tecnológico brasileiro, tomou por condutor o método comparativo. Fachin (2003, p.37) define o método comparativo como o ato de investigar fatos ou coisas e explicá-los segundo suas semelhanças e diferenças. Baseado nesse conceito procedeu-se um levantamento de tecnologias para ônibus e caminhões voltadas à redução da emissão de poluentes atmosféricos e gases de efeito estufa, comparando as iniciativas ocorridas no Brasil e em outros países. A pesquisa considerou os avanços tecnológicos recentes e as experiências passadas.

O levantamento de dados ocorreu a partir de pesquisa documental em fontes primárias e secundárias, denominadas desta forma por Lakatos e Marconi (2001, p.174) para identificar a pesquisa em documentos e bibliografias. Nos casos em que o levantamento se mostrou insuficiente, algumas montadoras de ônibus e caminhões e centros de pesquisas de universidades foram contatados para a obtenção de maiores informações a respeito das pesquisas ou produtos que estavam em estágio final de desenvolvimento ou desenvolvidos, prontos para uso.

O complemento das pesquisas foi feita por meio de questionário, conforme a descrição do instrumento que se sucederá. Segundo Gil (2002, p.50), procedeu-se uma atividade de levantamento, com a solicitação de informações acerca do problema estudado para um grupo de pessoas, para em seguida, mediante análise, obter as conclusões referentes aos dados coletados. Pelo fato do trabalho buscar os fatores que, de alguma forma, incidem sobre a entrada de tecnologias, o foco desse levantamento recaiu sob aquilo que estava relativamente pronto ao uso, independente da viabilidade técnica e operacional.

No quarto e último capítulo, assim como no anterior, houve um levantamento bibliográfico, nesse caso dos fatores incidentes sobre as alternativas, e como forma de complementar o trabalho de pesquisa, procedeu-se um levantamento a partir da percepção de especialistas e atores ligados ao transporte rodoviário, para definir o que dificulta ou impede o uso das tecnologias objeto do estudo e a capacidade das atuais políticas públicas de introduzi-las no mercado. A pesquisa foi feita com especialistas de universidades, empresas fabricantes de ônibus e caminhões, empresas de transporte, órgão de representação, associações, estatais e ministérios. Tratou-se de estudo de campo mais na tentativa de aprofundar as questões propostas do que identificar distribuições de características segundo determinadas variáveis (GIL, 2002, p.53).

O levantamento foi realizado a partir de entrevistas com a aplicação de questionários⁵ aos especialistas pertencentes às instituições citadas anteriormente. Dois deles foram preenchidos e devolvidos por e-mail, um respondido por telefone e todos os demais durante os encontros diretos com o pesquisador. As entrevistas foram consideradas como parte relevante do processo de pesquisa, pois como observado por Cervo e Bervian (2002, p.46), não se trata de simples conversa, mas possui objetivo definido de obter informações relevantes por meio do interrogatório daquele que presta as informações. Como já observado, a entrevista teve o propósito de completar e não definir, sendo esse o papel que lhe coube, e que é apoiado por Cervo e Bervian (2002, p.47), quando afirmam que “recorre-se à entrevista quando não há fontes mais seguras para as informações desejadas ou quando se quiser completar dados extraídos de outras fontes”.

Foram construídos dois modelos de questionários (Apêndice A e Apêndice B), com perguntas orientadas a obter do entrevistado, a partir da experiência e do conhecimento sobre o tema, a percepção a respeito do problema de pesquisa. O questionário I (Apêndice A) foi aplicado para especialistas de centros de pesquisas e empresas fabricantes de ônibus e caminhões e o questionário II (Apêndice B) para os demais entrevistados. A única diferença entre os instrumentos é a primeira pergunta relacionada às tecnologias desenvolvidas pela empresa em que atua o entrevistado, que consta somente no questionário I. Como já contemplado por Fachin (2002, p.141), para a aplicação de um questionário é necessário o apoio do pesquisador, havendo então o contato pessoal entre ele e o entrevistado. No presente trabalho não foi diferente, por isso, coube ao pesquisador realizar quase todas as entrevistas que compõe o estudo.

No tocante ao uso de questionários, esse ocorreu mantendo seu conceito e forma de uso, como “uma série de perguntas organizadas com o fim de se levantar dados para uma pesquisa, com respostas fornecidas pelos informantes” (FACHIN, 2003, p.147). A aplicação dos questionários, apesar de inicialmente prevista para 26 especialistas, ocorreu somente com 22 deles, em função de restrições como: dificuldade de acesso direto ao entrevistado, restrições para o deslocamento até o local de realização da entrevista e impossibilidade de conciliar as agendas do pesquisador e dos especialistas.

A aplicação dos questionários primou pela qualidade das informações levantadas, por esse motivo buscou deixar bem claro os objetivos do estudo e apresentou de forma detalhada as instruções necessárias para se proceder com a resposta do instrumento. Como forma de não inibir o entrevistado e como condição indispensável para que muitos

⁵ Para alguns autores o termo questionário refere-se ao instrumento aplicado sem auxílio do entrevistador, com informações suficientes para que o entrevistado o responda sozinho. Já formulário é o instrumento que indispensavelmente conta com o entrevistador para conduzir a pesquisa junto ao entrevistado. Para simplificar a abordagem, o termo questionário foi adotado como padrão neste trabalho, pois permitiu ao entrevistado respondê-lo sozinho, porém, também foi utilizado durante entrevistas.

deles participassem da entrevista, seus nomes e a instituição em que atuam foram omitidos neste trabalho. Suas respostas foram todas apresentadas de forma consolidada, evitando a possibilidade de expô-los. Ainda que a participação tenha sido anônima, vale ressaltar que as respostas por eles fornecidas representam exclusivamente suas respectivas opiniões e não podem ser consideradas como a posição das instituições em que atuam.

A partir de todo o levantamento bibliográfico e das informações obtidas durante as entrevistas foi possível realizar comparações e chegar a algumas conclusões. Os resultados obtidos esquivaram-se da indução, definida por Viegas (1999, p.126), como o método oposto ao da dedução, onde se pode, a partir de experiências de casos particulares, explicar todos os demais casos de mesma natureza. A dinâmica do uso das tecnologias para ônibus e caminhões é motivada e conduzida por pensamentos e interesses próprios, diferentes daqueles que orientam outros setores e segmentos. Certamente que alguns fatores se assemelham e os hábeis estudiosos do assunto saberão identificá-los e utilizados com destreza.

As conclusões são resultantes de análises acerca da história contida na bibliografia pesquisada, nos documentos e, principalmente, a partir da opinião dos especialistas, que representam a fonte de informação mais fidedigna e atualizada. Trata-se de síntese gerada em seu processo tradicional a partir da tese de outros especialistas que, após reflexão sob tudo aquilo que foi avaliado, permitiu ao autor apresentar sua percepção a respeito do problema de pesquisa abordado, encerrando o trabalho com algumas recomendações proferidas para a boa condução do processo de introdução de tecnologias menos poluentes para ônibus e caminhões no Brasil.

1. TRANSPORTE TERRESTRE

O transporte por via terrestre constitui-se como a forma mais antiga utilizada pelo homem para movimentar pessoas ou cargas. Desde a antiguidade o transporte era realizado utilizando técnicas de rolagem, arrasto ou com o auxílio de animais. Está vinculado ao surgimento das civilizações, que tinham na via terrestre a forma pela qual ocorriam os deslocamentos, independente do meio de transporte utilizado. O transporte está presente em todo o tipo de sociedade, variando somente a intensidade do uso, veículos e tipos de via em que operam.

Pode-se definir transporte terrestre como todo e qualquer tipo de transporte realizado por via terrestre. O termo engloba, na atualidade, o transporte por ferrovias, rodovias, estradas, vias urbanas ou qualquer outro tipo de via terrestre. Para efeito do Código de Trânsito Brasileiro (BRASIL, 1997) em seu artigo 60, as vias abertas à circulação são classificadas em vias urbanas e vias rurais. As primeiras se subdividem em via de trânsito rápido, via arterial e via coletora. As vias rurais são subclassificadas como rodovias e estradas.

Sendo transporte rodoviário aquele realizado em rodovias, se aplicado o conceito definido pelo código de trânsito, a simples interpretação do termo poderia recair somente sobre os veículos que transitam exclusivamente em vias rurais pavimentadas. Por não ser esse o objetivo, o termo transporte rodoviário, utilizado no presente estudo, se destinará a identificar todo tipo de transporte terrestre que utiliza qualquer tipo de via, excluindo, neste caso, somente as ferrovias.

A seguir descrição histórica do processo que resultou na formação da matriz de transportes terrestres brasileira. O levantamento compreende desde a revisão conceitual dos veículos, motores e combustíveis, apresentada com o intuito de esclarecer as diferenças entre eles e os limites técnicos, até os fatos históricos que conduziram a opção pelo modal rodoviário no Brasil.

1.1. Veículos

Os veículos surgiram juntamente com a invenção da roda, há milhares de anos A.C., e desde então o processo de evolução deles não mais parou. Foram desenvolvidas novas formas, sistemas de propulsão e conseqüentemente novos combustíveis. Os veículos impulsionaram o desenvolvimento econômico e social, por essa razão, transportar cargas e pessoas tornou-se uma atividade indispensável a qualquer sociedade. Quanto mais rápido e eficiente o transporte, maiores as chances de crescimento e progresso.

A possibilidade de desenvolver melhorias técnicas levou o homem ao constante aperfeiçoamento dos veículos. No século XVIII eles passaram por um processo de evolução no sistema de tração, eliminando o uso de animais para a utilização de motores a vapor. O primeiro veículo com esse sistema foi construído em 1770 por Nicolas Joseph Cugnot, a pedido do Arsenal Real em Paris, para o transporte de canhões. Em 1784 William Murdock construiu o primeiro veículo a vapor capaz de transportar pessoas em estradas. Em 1786 foi construída a primeira viatura para o transporte de passageiros por William Symington, que também era movida a vapor (NTU, 2008a).

Em função do surgimento dos motores a combustão interna no século XIX, os motores a vapor foram deixados de lado. Começava a era dos motores que seriam definidos como modelo para quase todos os tipos de veículos. O surgimento do motor a combustão interna e a abundância de petróleo formaram as condições perfeitas para que eles se consolidassem em quase toda a frota mundial de veículos, com poucas exceções, como no caso da parcela ínfima de ônibus que utilizam motores elétricos.

O transporte rodoviário, em seu sentido mais amplo, compreende o uso de veículos como motos, carros, ônibus e caminhões, porém, para o presente trabalho, somente dois deles farão parte do problema de pesquisa: os ônibus e caminhões, também denominados em outras partes deste trabalho como veículos pesados. Estão excluídos da pesquisa os veículos classificados como comerciais leves, como, por exemplo, caminhonetes, vans e todos os demais assim categorizados, pois do total produzido no país no ano de 2007, apenas 17% são movidos a diesel (ANFAVEA, 2008, p.60) e, ainda assim, grande parte foi exportada.

Além dos comerciais leves, o Brasil também produz carros de passeio movidos a diesel, porém, em função de restrições legais, toda a produção nacional é destinada à exportação. Os ônibus e caminhões ocupam posição de destaque no consumo de óleo diesel em razão do volume da produção nacional desses veículos, da atual frota circulante e das distâncias médias percorridas por eles anualmente. O consumo de diesel pelos ônibus e caminhões e suas conseqüências são suficientes para defini-los como parte central do estudo. Por essa razão é prudente analisar a trajetória de desenvolvimento tecnológico desses veículos e o processo histórico percorrido, antes e depois de sua inserção no País, conforme sucederá.

1.1.1. Ônibus

Os ônibus surgiram em função da necessidade do transporte coletivo. Apesar do transporte público ter origem no ano de 1662 na França, a partir das idéias de Blaise Pascal, com o uso de pequenas carruagens com capacidade para oito pessoas (NTU, 2008b), os

ônibus como são conhecidos hoje surgiram somente no começo do século XX. Entre esse período os ônibus passaram por constantes aprimoramentos em sua estrutura e nos sistemas de propulsão. Com o desenvolvimento de novas tecnologias em 1895 surgiu o primeiro ônibus a gasolina, construído Karl Benz. O veículo tinha somente cinco HP⁶, por vezes, os passageiros precisavam empurrá-lo nas subidas (CNT, 2008b).

Na verdade o que se denominava de ônibus era mais similar a uma diligência motorizada. Melhorias no sistema de propulsão, como a realizada por Benz, e na estrutura física dos veículos permitiu que em 1904 surgissem os ônibus com aparência e características semelhantes aos atuais. O espaço utilizado em função da motorização gerava alguns problemas, por isso “procurava-se aumentar a capacidade de transportar passageiros, limitada pelo espaço ocupado pelo motor em posição frontal. Um dos meios encontrados foi a colocação do motor debaixo do assento do motorista” (NTU, 2008c).

A partir desse momento o desenvolvimento dos ônibus ganhou ritmo mais acelerado. A carroceria de madeira foi substituída pela de metal, os pneus sólidos foram trocados pelos pneumáticos, os motores ganharam potência e alternativas de combustíveis, como o modelo N56 produzido em 1929 pela Benz, com capacidade de funcionar com diesel (NTU, 2008c). Em função do crescente mercado, os incrementos e inovações eram constantes. Algumas das mudanças eram muito bem sucedidas e outras grandes fracassos.

O Brasil não ficou fora da tendência de transporte que se instituiu no mundo inteiro. Chegavam ao País, no final da década de 1920, os ônibus motorizados com capacidade de transportar grande quantidade de pessoas. O final dessa década é o marco do início do sistema de transporte coletivo brasileiro realizado por ônibus. A frota nacional crescia, entretanto, a projeção não seguia o mesmo ritmo dos países europeus, que já na década de 1930 enfrentavam engarrafamentos.

Nessa época os ônibus utilizados no Brasil eram todos importados. As inovações utilizadas no exterior não chegavam de imediato ao País, havia um tempo entre o desenvolvimento e sua chegada, conseqüência, em parte, da falta de uma indústria automobilística instalada. Algumas tecnologias, como os ônibus Mack híbridos, desenvolvidos entre 1925 e 1930 nem se quer chegaram ao Brasil. Já os ônibus trolleys desembarcaram em 1958, bastante tempo depois de serem desenvolvidos na França no início do século XX (NTU, 2008c). Com a Segunda Guerra os ônibus foram adaptados, principalmente na Europa, em função da escassez do petróleo. Entrava em operação ônibus movidos a gás de rua, gasogênio – produzido a partir do carvão – e com tração elétrica (CNT, 2008b).

⁶ HP é a sigla de Horse Power (cavalos de potência) – unidade de medida de força. Um veículo popular de 1000 cilindradas no Brasil tem por volta de 60 cavalos (HP).

Pouco anos depois do fim da guerra, a implantação da indústria automobilística nacional, associada ao potencial mercado consumidor, deu início a um processo de transformações. A capacidade de produzir e a existência de um mercado consumidor proporcionam as condições necessárias ao crescimento. Apesar das oscilações, a partir da década de 1990 o País conseguiu alavancar a produção de ônibus e continua, até os anos mais recentes, seguindo com forte tendência de crescimento, conforme o gráfico 1.

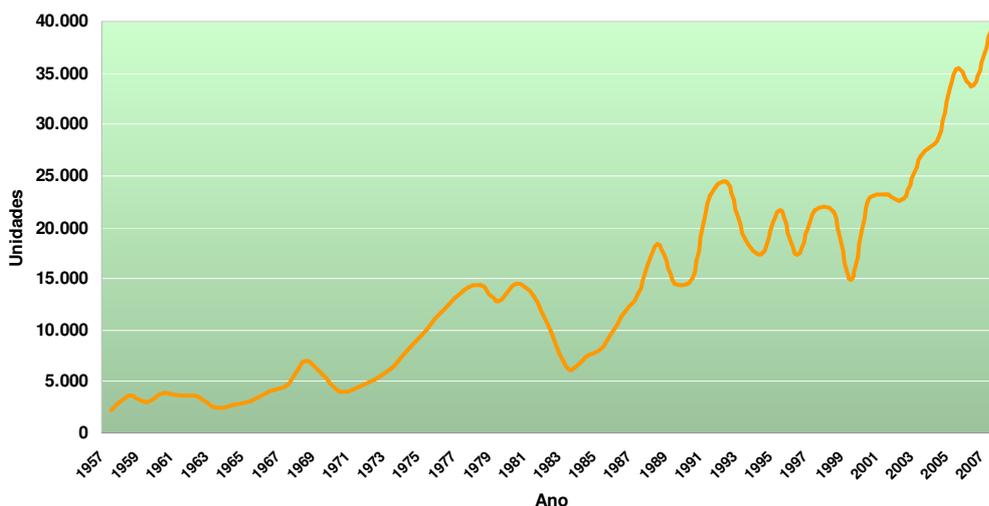


Gráfico 1 – Produção de ônibus no Brasil (1957 – 2007).
Fonte: ANFAVEA, 2008, p.54.

A expansão na produção de ônibus garante ao País lugar de destaque como produtor e usuário. O Brasil é o maior produtor de ônibus do mundo, tendo alcançado a marca de mais de 35 mil unidades produzidas no ano de 2005 (ANFAVEA, 2006, p.144). Mesmo com o crescimento da frota de automóveis de passeio, os números da produção de ônibus são satisfatórios e poderão melhorar caso ocorra aumento da demanda, em função da migração do transporte individual para o coletivo, principalmente, como consequência das possíveis restrições ao uso dos carros de passeio provocadas pelo acesso de veículos.

A produção de ônibus apresenta um fato peculiar. Diferente dos caminhões, a produção de ônibus a gasolina sempre foi muito inferior aos movidos a diesel (ver gráfico 2). Chegou a pouco mais de 2000 unidades desde o início da indústria automobilística nacional. Tecnologias como os trólebus – veículos elétricos –, e os ônibus movidos a gás natural foram introduzidas, por exemplo, em São Paulo e no Rio de Janeiro, mas em quantidades pouco significativas diante da frota a diesel.

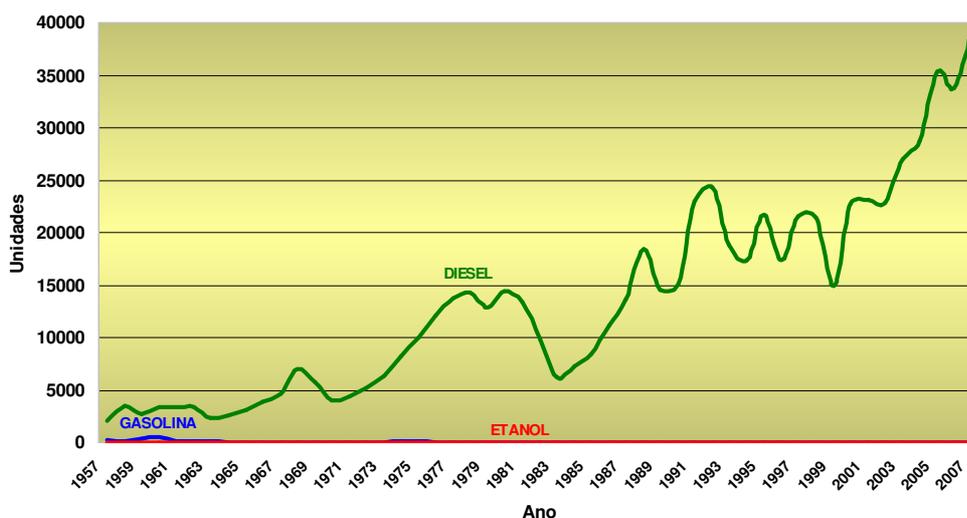


Gráfico 2 – Produção de ônibus no Brasil por tipo de combustível (1957 – 2007).
Fonte: ANFAVEA, 2008, p.58.

1.1.2. Caminhão

O surgimento dos caminhões motorizados data do final do século XIX. O primeiro caminhão motorizado foi desenvolvido por Gottlieb Daimler e Karl Benz em 1896 (DAIMLER CRYSLER, 2008). O contexto histórico dos caminhões está ligado diretamente ao dos ônibus, porém, as razões que levaram ao desenvolvimento dos caminhões são bem diferentes. O transporte de pequenas cargas nem sempre era viável economicamente pela rede ferroviária, além disso, a abrangência das redes era bem limitada, não permitindo o deslocamento entre fazendas ou dentro de pequenas regiões. Surgia a demanda por um transporte mais flexível e de menor custo para pequenos transportes. Como esse propósito, os caminhões se apresentavam como a solução mais adequada para esse tipo de deslocamento.

Os caminhões representaram a inovação que transformou o setor de transporte de cargas. Como veículos substitutivos foram responsáveis diretos pela queda do transporte ferroviário. As facilidades oferecidas pelos caminhões, com o uso em condições mínimas de infra-estrutura, associada à crescente necessidade de transporte de bens, propiciou sua rápida expansão. Por essa e outras razões os caminhões ganharam espaço e impulsionaram o crescimento do transporte rodoviário de cargas em todo o mundo.

O processo técnico de desenvolvimento técnico dos caminhões se assemelhou bastante ao dos ônibus. Os motores a vapor, elétricos, a gasolina e a diesel foram inovações presentes também nos caminhões. Entretanto, em termos técnicos, pode-se dizer que os caminhões permitiram a sobrevivência de algumas tecnologias e sistemas que não eram mais utilizados em ônibus, como os motores a vapor e a gasolina. Os caminhões a vapor

Sentinel foram fabricados até 1950 (CNT, 2008b), período em que não mais haviam ônibus com essa tecnologia, assim como os caminhões a gasolina, que foram fabricados até poucos anos atrás, mais precisamente até 2003 (ANFAVEA, 2008).

Os caminhões chegaram ao Brasil no começo do século XX. O potencial do mercado brasileiro despertou a atenção da fabricante Ford, que instalou sua primeira fábrica no País em 1919 para montar carros e caminhões (FORD, 2008). Dez anos depois era fabricado o primeiro caminhão 100% nacional, um avanço precoce, se comparado a história dos ônibus, porém, justificada pela grande demanda por esse tipo de veículo, conseqüência do declínio do sistema ferroviário.

O País detinha de condições adequadas para a expansão do mercado de caminhões. Logo ao surgimento da indústria automobilística no Brasil, o primeiro ano de produção de caminhões foi equivalente a produção de ônibus nos cinco primeiros anos (ANFAVEA, 2008). A produção permaneceu crescente até o início da década de 1980, quando ocorreu um drástico declínio, conforme indicado no gráfico 3. Com o crescimento da economia no início da década de 1990, a produção voltou novamente a crescer.

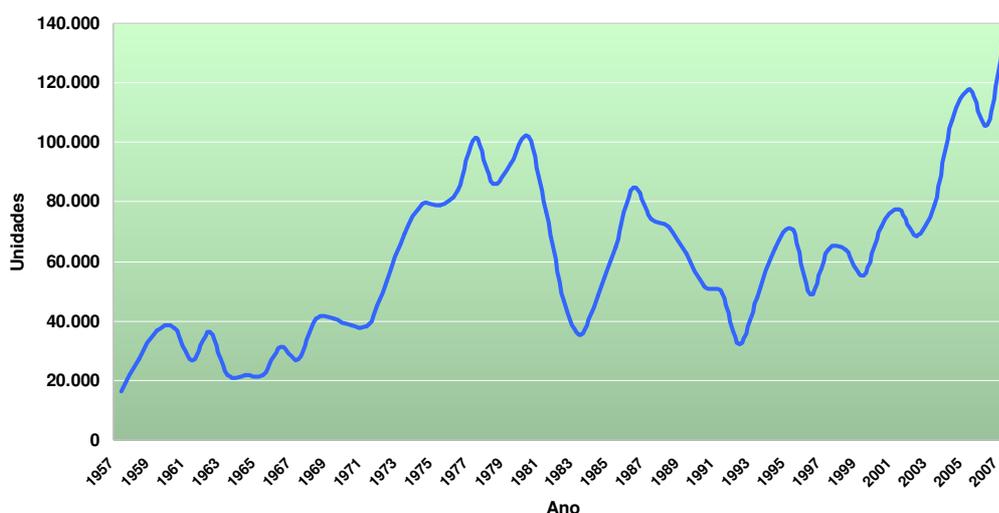


Gráfico 3 – Produção de caminhões no Brasil (1957 – 2007).
Fonte: ANFAVEA, 2008, p.54.

Diferente do ocorrido com a produção nacional de ônibus, quase que integralmente movida a diesel, durante mais de duas décadas foram fabricados caminhões movidos a gasolina e algumas unidades a etanol. A produção de caminhões movidos a gasolina chegou a ser superior àqueles a diesel, porém, com o avanço dos motores a diesel, a crise do petróleo na década de 1970 e o subsídio ao óleo diesel, os caminhões a gasolina tiveram a produção reduzida até sua quase extinção na década de 1990, conforme mostra o gráfico 4.

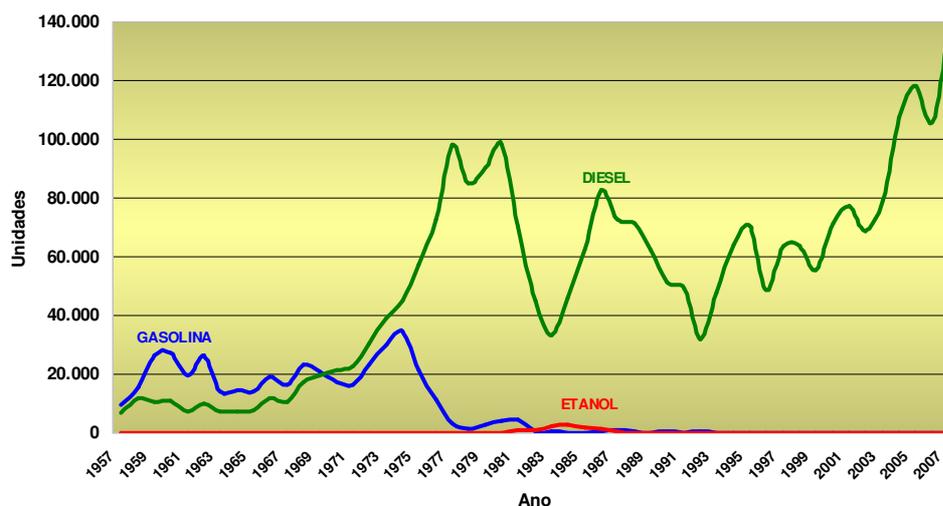


Gráfico 4 – Produção de caminhões no Brasil por tipo de combustível (1957 – 2007).
 Fonte: ANFAVEA, 2008, p.58.

1.1.3. Motores

Com o fim dos motores a vapor no século XX, iniciava-se a fase de uso e domínio dos motores a combustão que perdura até a atualidade. Apesar das várias invenções, inovações e melhoria, somente dois tipos de motores a combustão interna são utilizados em veículos: os motores ciclo Otto e motores ciclo Diesel. O sistema de funcionamento desses motores tem algumas semelhanças, inclusive com algumas etapas idênticas, mas também apresentam atividades diferenciadas durante o funcionamento.

Os motores a diesel em função da maior eficiência e características técnicas foram consolidados ao longo dos anos como padrão mundial para veículos pesados. Apesar desse domínio os primeiros ônibus e caminhões com motores de combustão interna utilizavam motores a gasolina. Um bom exemplo é o primeiro veículo de carga produzido no País em 1957, um Ford F-600, motor V8, com 167 HP, que era movido a gasolina (GORDINHO, 2003, p.125), seguindo o padrão mundial das montadoras.

As vantagens apresentadas pelos motores a diesel conduziram a sua aplicação também em veículos de passeio. Na Europa, por exemplo, o registro de novos veículos de passeio com motores a diesel foi de 53,3% no ano de 2007 (ECEA, 2008), com forte tendência de crescimento (ver gráfico 5). No Brasil a utilização do diesel como combustível para veículos de passeio é proibida pela Portaria nº. 23, de 6 de junho de 1994, publicada pelo já extinto Departamento Nacional de Combustíveis, conforme o texto: “fica proibido o consumo de óleo diesel como combustível nos veículos automotores de passageiros de carga e de uso misto, nacionais e importados, com capacidade de transporte inferior a 1.000

kg” (DNC, 1994). Assim, mesmo sendo produzidos no País, os carros a diesel são destinados exclusivamente à exportação.

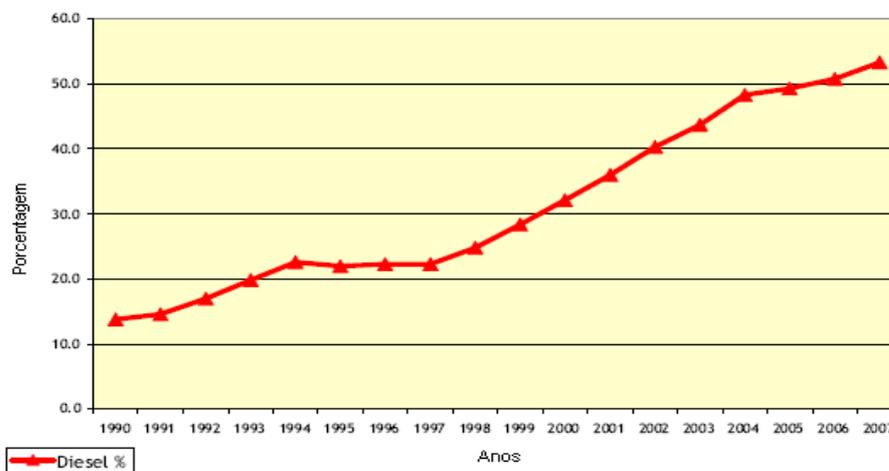


Gráfico 5 – Percentual de registro de novos veículos a diesel na Europa, 1990-2007.
Fonte: ECEA, 2008.

Existe na literatura a indicação de que a proibição do uso de veículos leves a diesel surgiu no ano de 1976, em função da escassez do produto no mercado interno, a partir de um Ato Normativo de nº. 26, entretanto o referido documento não foi localizado nas bases de dados legais. Sabe-se que desde a década de 70 já havia uma separação quanto ao uso do diesel, que era voltado, quase que exclusivamente, para veículos de carga e passageiros, enquanto a gasolina era utilizada nos demais tipos de veículos.

1.1.3.1. Otto

Em 1852 o belga Jean Joseph Etienne Lenoir iniciou as pesquisas para o desenvolvimento de um motor a combustão interna. Seis anos depois ele experimentava um motor fixo, movido a gás. Em 1860 realizaria a patente desse motor, considerado o primeiro motor a combustão interna bem-sucedido. Três anos mais tarde tentou transformar esse mesmo motor fixo em móvel, colocando-o em um triciclo. Na época, pela baixa eficiência do motor e pelas limitações técnicas, a idéia foi um fracasso, porém, os conceitos não foram deixados de lado (SO BIOGRAFIAS, 2008).

A partir das idéias de Lenoir, o alemão Nikolaus August Otto iniciaria no ano de 1861 pesquisas para a construção de um motor a combustão interna de quatro tempos. Em 1864, juntamente com Eugen Langen, após a celebração de uma sociedade fundaram a Nikolaus August Otto and Company. (MATSCHOSS, 1970, p.285). Depois de inúmeras dificuldades, grande concorrência e já de posse da patente do motor a combustão interna em vários

outros países, em 1888 Otto finalmente a conseguiu no escritório americano de patentes (UNITED STATES PATENT OFFICE, 1888).

Desde a primeira apresentação do motor as melhorias e incrementos não pararam. O barulho foi reduzido, as falhas corrigidas, o desempenho e o rendimento aumentaram e inúmeras outras melhorias foram realizadas, não somente por Otto, mas por outros interessados como Gottlieb Daimler, Karl Benz e Siegfried Marcus⁷. O motor Otto ou motor a explosão, como passou a ser conhecido, depois de aprimorado, adquirindo a capacidade de trabalhar em alto giro e podendo ser abastecido a gasolina, consolidou-se até a atualidade como o motor padrão para vários tipos de veículos, principalmente os leves.

O motor que avançou a partir do uso de gasolina foi adaptado para utilizar o álcool combustível em sua forma pura, depois que o biocombustível foi criado. O uso do álcool ganhou espaço, principalmente no Brasil, estimulado pela criação do Programa Nacional do Álcool (Proálcool) na década de 1970. No ano de 1999 a Magneti Marelli do Brasil iniciou pesquisas para o desenvolvimento de um sistema que permitiria aos veículos utilizarem não somente álcool ou gasolina, mas os dois combustíveis simultaneamente. A tecnologia conhecida por *Flexfuel* possibilitou o uso de álcool hidratado e gasolina misturados em qualquer proporção. Em 2006 a tecnologia avançou um pouco mais com o desenvolvimento do sistema *Tetrafuel*, concedendo ao motor a capacidade de funcionar com álcool hidratado, gasolina convencional – misturada com álcool anidro –, gasolina tipo C – gasolina pura – e gás natural veicular – GNV (MAGNETI MARELLI, 2008).

Independente do tipo de combustível utilizado, o motor Otto é praticamente o mesmo do final do século XIX. Seu princípio de funcionamento se baseia no que se chama de motor de quatro tempos. Cada tempo equivale a um estágio que compõe o ciclo completo de funcionamento do motor, conforme a figura 1.

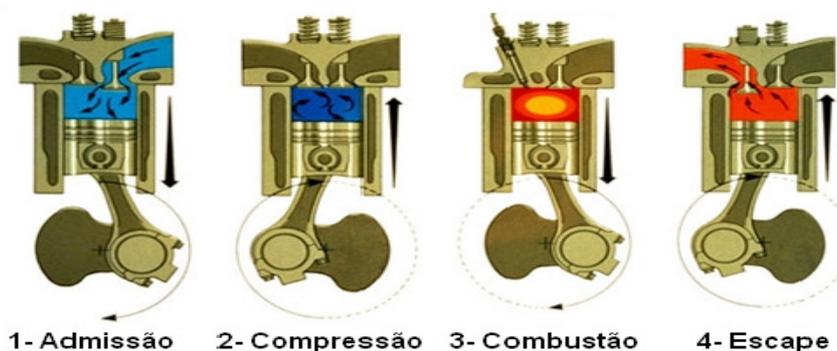


Figura 1 – Ciclo do motor Otto.

Fonte: UFRGS. Disponível em: <<http://www.mecanica.ufrgs.br/mmotor/otto.htm>>.

⁷ Alguns especialistas atribuem a Siegfried Marcus o célebre reconhecimento de ter sido o primeiro inventor do automóvel – veículo móvel com propulsão por motor a combustão interna. Disponível em: <http://www.siegfried-marcus.net/index.php>

1. **Admissão** – nessa etapa a válvula de admissão é aberta para a entrada da mistura de ar e combustível (essa mistura é definida como rica ou pobre, de acordo com a proporção da mistura combustível/ar);
2. **Compressão** – nesse momento as válvulas permanecem fechadas e a mistura contida no cilindro é comprimida;
3. **Combustão** – com a mistura comprimida dentro do cilindro, a etapa de combustão consiste na produção de uma centelha – gerada pela vela – e na explosão/combustão da mistura contida no cilindro;
4. **Escape/emissão** – nessa fase os gases provenientes da combustão são retirados do cilindro, saindo pela válvula de escape, para que seja iniciado um novo ciclo.

Apesar dos avanços desse tipo de motor, os conceitos utilizados são os mesmos de quando foi criado. Os incrementos promovidos estão relacionados ao aumento da potência, a economia de combustível e a redução da emissão de poluentes. Apesar das constantes melhorias, sua eficiência sempre foi inferior ao motor Diesel. Por essas e outras razões o motor com ciclo Otto atualmente é utilizado, quase que exclusivamente, em veículos leves, cabendo aos motores ciclo Diesel, que possuem maior torque, suprir os veículos pesados, como ônibus e caminhões.

1.1.3.2. Diesel

Os motores ciclo Diesel surgiram pouco anos depois dos motores Otto. Seu desenvolvimento foi realizado na Alemanha por Rudolf Diesel, que durante anos realizou experimentos e estudos para concretizar sua idéia, divulgada publicamente pela primeira vez em 1892. Mesmo com a divulgação o motor ainda necessitava de muitos ajustes para o uso, ainda assim, no ano seguinte ele o apresentou em funcionamento, que, devido a problemas técnicos, não operou plenamente. Ainda neste mesmo ano ele conseguiu uma patente intitulada de Processo Operacional e Tipo de Construção de Motores de Combustão (MAN NUTZFAHRZEUGE, 2008).

Depois dessa patente Rudolf Diesel realizou algumas outras em 1898 e 1903, algumas em conjunto com Hugo Guldner, no Escritório Americano de Patentes e em diversos outros países, com incrementos e melhorias em seu motor (UNITED STATES PATENT OFFICE, 1903). De forma semelhante ao ocorrido com o motor ciclo Otto, desde a sua criação os motores Diesel vêm passando por constantes aprimoramentos, principalmente, voltados ao aumento da força, eficiência, redução da emissão e adaptação a outros combustíveis.

Segundo Braun *et al.* (2003, p.473), “a popularidade das máquinas a diesel deve-se, principalmente, à eficiência do diesel como combustível em relação à gasolina, ou mesmo com relação a outros combustíveis simples ou misturados”, conforme pode ser comprovado na tabela 1.

Valores típicos para taxa de compressão, λ e eficiência para motores Diesel e Otto.

Tipo de motor	Diesel	Otto
Taxa de compressão	16-24	7-10
λ (ar para taxa de combustível) ⁸	1.1-6	0.9-1.1
Eficiência efetiva*	0.30-0.45	0.25-0.30

* KW de eficiência da energia mecânica por KW da energia do combustível queimado.

Tabela 1– Comparação entre motores Diesel e Otto.
Fonte: NEEFT, 1996, p.7.

Além da eficiência, o baixo preço do óleo diesel colaborou para a ampla utilização desse tipo de motor em veículos utilizados em atividades comerciais de transporte, como ônibus e caminhões. Braun *et al.* (2003, p.473) afirma que “é comum um motor diesel para veículos de carga pesada ter um tempo de vida superior a um milhão de quilômetros, ou seja, cerca de dez vezes mais que a durabilidade apresentada por um motor à gasolina”. Sob o ponto de vista econômico, em razão de sua durabilidade, o uso de motores a diesel é plenamente justificável, em contrapartida, os índices de emissão de poluentes, como material particulado e óxido de enxofre, são prejudiciais a saúde.

O funcionamento do motor Diesel é semelhante ao Otto, sendo também classificado como de quatro tempos, entretanto, a forma como são realizadas as etapas necessárias para que ocorra a combustão são diferentes, conforme demonstrado na figura 2.

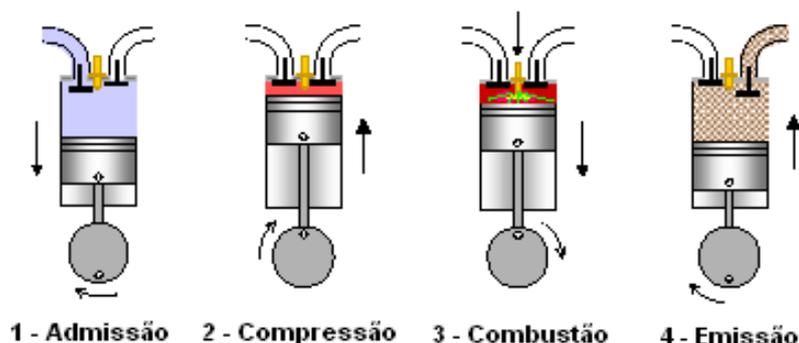


Figura 2 – Ciclo do motor diesel.

⁸ O parâmetro λ é definido como a taxa de ar disponível para o ar necessário para a combustão completa. Serve para definir a quantidade de ar para a proporção de combustível. Em condições perfeitas a proporção é de 1/1.

1. **Admissão** – nessa etapa a válvula de admissão é aberta para a entrada somente do ar. Diferente do motor Otto que lança na câmara uma mistura de ar e combustível, o motor Diesel capta somente o ar, sem combustível;
2. **Compressão** – nesse momento as válvulas permanecem fechadas e o ar é comprimido. Devido à taxa de compressão, o ar contido na câmara fica com a temperatura elevada;
3. **Combustão** – o diesel é injetado na câmara e, como o ar comprimido está com temperatura elevada, ocorre o processo de combustão. Diferente do motor Otto, não existem sistemas elétricos, como a vela, para gerar centelhas;
4. **Escape/emissão** – nessa fase os gases provenientes da combustão são retirados do cilindro, saindo pela válvula de escape, para que seja iniciado um novo ciclo.

1.2. Combustíveis

Os materiais e substâncias que conseguem entrar em combustão, produzindo energia sob a forma de calor, são considerados combustíveis e podem ser classificados como renováveis e não-renováveis. Renováveis são todos aqueles produzidos a partir de matérias-primas não-finitas, ou seja, com capacidade de renovação como o etanol, o biodiesel, os óleos vetais, o carvão vegetal e todos os demais obtidos a partir da biomassa. Os não-renováveis são aqueles obtidos de fontes finitas, sem a possibilidade de renovação como o petróleo, o gás natural, o carvão mineral e todos os demais de origem fóssil. Existem outros combustíveis de fontes renováveis e não-renováveis, como o hidrogênio⁹ e o metanol, que podem ser obtidos de ambas as fontes, porém, neste capítulo, somente serão tratados aqueles que já estão consolidados em termos tecnológicos e disponíveis para uso em escala comercial. As aplicações do hidrogênio e do metanol em veículos serão tratadas a diante, no capítulo três.

Quanto à forma, os combustíveis podem ser produzidos, estocados e transportados em estado líquido, gasoso ou sólido, sendo este último o menos utilizado em veículos. A forma líquida é a mais comum, em razão, principalmente, da facilidade de estocagem e transporte, pois dispensa a realização de processos de conversão, como ocorre no caso dos combustíveis estocados na forma sólida, ou a aplicação de sistemas com tanques pressurizados, utilizados para estocar combustíveis em estado gasoso.

⁹ O hidrogênio pode ser utilizado como um vetor energético, quando aplicado em células combustível, ou diretamente como combustível, quando utilizado em motores de combustão interna.

1.2.1. Combustíveis fósseis

Combustíveis fósseis são todos aqueles originários de materiais fósseis decompostos. Um exemplo, talvez o mais conhecido, é o petróleo. Além dele existe o gás natural, areias betuminosas, xisto (RIBEIRO; REAL, 2006, p.19), carvão e outros. Os materiais fósseis que dão origem aos combustíveis são o resultado da decomposição de organismos, como plantas e animais, depositados no subsolo de oceanos ou de continentes. O processo de decomposição e formação de combustíveis fósseis leva milhões de anos, culminando na formação de hidrocarbonetos, compostos formados por átomos de carbono e hidrogênio, que em razão da facilidade de extração e transporte, no caso do petróleo e gás, compreendem as principais fontes de energia do planeta (PORTO, 2006, p.13).

Com o advento do coque por Abraham Darby, no início do século XVIII na Inglaterra, foi possível a substituição do carvão vegetal pelo mineral na fabricação do ferro e do aço (PORTO, 2006, p.12). Nesse ponto foi dado início ao processo de consolidação dos combustíveis fósseis como base para o desenvolvimento industrial e econômico. Eles passaram a representar a principal fonte de energia para a produção de eletricidade, o funcionamento de veículos, a indústria e outros setores. Além da facilidade de obtenção e transporte, o potencial energético contido nos combustíveis fósseis, principalmente no petróleo, os tornou uma fonte extremamente atrativa, conforme comparativo apresentado na tabela 2.

Combustível	Conteúdo energético (kJ/g)¹⁰	Densidade energética (kJ/m³)¹¹
Hidrogênio	119,93	8.491.000
Metano	50,02	20.920.400
Propano	45,6	23.488.800
Gasolina	44,5	31.150.000
Diesel	42,5	31.435.800
Metanol	18,05	15.800.100
Etanol	26,7	21.093.000
Biodiesel	37,8	33.264.000

Tabela 2 – Conteúdo e densidade energética de combustíveis.

Fonte: WOODS; BAUEN¹², 2003, p.112; Energy Technology Training Center, 2001, p.1-15 e 1-16.

¹⁰ Os valores representam o conteúdo energético mínimo. O conteúdo pode variar em razão do tipo de matéria-prima utilizada na produção do combustível e a origem. Os dados referentes ao etanol e biodiesel referem-se a dados obtidos na Europa e os demais combustíveis nos Estados Unidos.

¹¹ A densidade energética é baseada nos combustíveis em estado líquido.

¹² Segundo esses autores, o conteúdo energético do diesel (no Reino Unido) é de 42,8 kJ/g e densidade de energética de 35.952.000 kJ/m³.

Apesar do grande conteúdo energético do hidrogênio, como sua massa é relativamente pequena, quando comparada a dos combustíveis de origem fóssil, a densidade energética, em estado líquido ou até mesmo gasoso, é extremamente baixa. Outros combustíveis renováveis, como o etanol e o biodiesel, apesar de apresentarem elevado conteúdo e densidade energética, ainda assim são menos vantajosos, em termos de concentração de energia, quando comparados com os combustíveis fósseis.

1.2.1.1. Petróleo

O petróleo é um composto de hidrocarbonetos, com cerca de 90% a 95% de sua composição formada por átomos de carbono e hidrogênio, originários de matéria orgânica, associada a sedimentos inorgânicos (ULLER, 2007, p.7). É constituído por elementos como o enxofre, nitrogênio, oxigênio, além de metais como ferro, níquel e vanádio. A presença desses elementos varia de acordo com o tipo do petróleo, sendo alguns deles encontrados em maior quantidade nas frações mais pesadas (YAMANISHI, 2007, p.10).

A transformação do material fóssil em petróleo ocorre por meio de um processo que leva milhões de anos. Ao ser formado ele tende a se deslocar por entre as rochas porosas até os locais de maior estabilidade, formando os reservatórios ou poços. Por isso, nem sempre o local de onde o petróleo foi extraído costuma ser o local onde foi formado. Esse processo permite a concentração do óleo em grandes reservatórios, já que ainda que sua matéria-prima esteja dispersa sob uma superfície, com o tempo, depois que ele é formado ocorre um processo de concentração espontânea.

Por ser originado da decomposição de variados organismos, em terrenos com características diferenciadas, o petróleo pode obter diferentes composições. Em termos geográficos pode variar de acordo com a localização, profundidade, além de outros fatores, como a idade do poço. Mesmo com a possibilidade de grande variação, estudos demonstram que sua composição em países como Índia, França, Polônia, Romênia, Rússia, Canadá, México, Estados Unidos, Argentina, Colômbia e Venezuela é formada por elementos na proporção descrita na tabela 3, apresentada a seguir.

Elementos	% em massa
C	83-87
H	10-14
N	0,1-2
O	0,05-1,5
S	0,05-6
Metais (Ni e V)	<1000 ppm

Tabela 3 – Porcentagem em massa dos elementos contidos no petróleo.
 Fonte: YAMANISHI, 2007, p.6.

Variações nas características do petróleo definem propriedades como a densidade, viscosidade, volatilidade e tensão superficial. A análise dessas propriedades permite definir seu tipo. Quanto mais longa as cadeias de hidrocarboneto, o óleo será considerado mais denso e pesado. O petróleo costuma ser classificado, quanto a sua densidade, como leve, médio, pesado e extra-pesado. Quanto mais leve, maior será seu valor comercial pela possibilidade de produzir derivados com maior valor de mercado, como a gasolina, o diesel, o querosene e o GLP. A densidade do petróleo é definida a partir de um índice chamado API, estabelecido pelo *American Petroleum Institute*, onde quanto maior o API, melhor será sua qualidade.

Depois de extraído e analisado o petróleo passa por um processo de refino que resulta na produção de seus derivados. O refinamento consiste em uma atividade de beneficiamento, que ocorre por meio de processos físicos e químicos, originando as frações de destilação, submetidas posteriormente a novas etapas de separação e conversão, chegando à produção dos derivados finais (MARIANO, 2001, p.10). O processo de refinamento é realizado de acordo com o tipo de petróleo disponível. Os produtos e as técnicas utilizados no refinamento podem variar de acordo com o tipo de petróleo beneficiado e os produtos finais que deverão ser obtidos. Apesar das variações, o processo típico de uma refinaria de petróleo ocorre conforme o fluxo da figura 3.

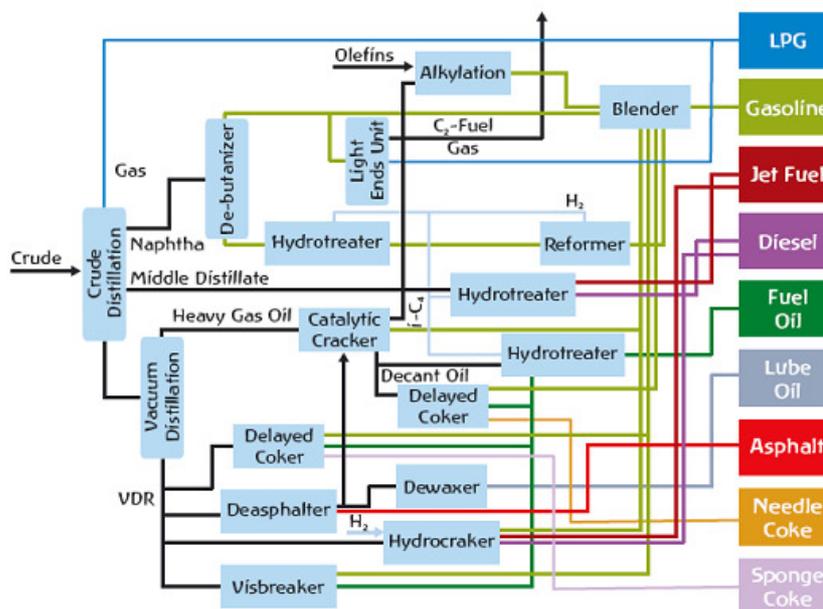


Figura 3 – Processo típico de uma refinaria de petróleo.
 Fonte: IEA, 2005, p.155.

A separação do petróleo é composta por diversas operações, como dessalinização, destilação atmosférica, destilação a vácuo, desasfaltação a propano, desaromatização a furfural, desparafinação e desoleificação (MARIANO, 2001, p.13). Depois de separado o óleo é submetido a processos de conversão, realizado por operações como: craqueamento térmico, visco – redução, coqueamento, craqueamento catalítico, hidrocraqueamento catalítico, hidrotreatamento/hidroprocessamento, alquilação, isomerização, polimerização, reforma catalítica, tratamentos químicos (MARIANO, 2001, p.22).

Finalizado o refino do petróleo é possível obter diversos derivados como o GLP, gasolina, diesel, querosene de aviação, bunker, nafta, gasóleo, óleos lubrificantes, óleos combustíveis, asfalto, coque, solventes, parafinas (PETROBRAS, 2008c) e outros. Os derivados podem resultar em muitos outros produtos que fazem parte da pauta de consumo de quase todas as sociedades, como plásticos, borrachas, fertilizantes e uma infinidade de outros materiais e produtos. De forma geral, um barril de petróleo depois de ser refinado tem como maior parcela a produção de combustíveis, principalmente a gasolina e o diesel, conforme mostrado no gráfico 6, ficando aproximadamente 20% para todas as demais aplicações. Esses percentuais podem variar de acordo com a demanda de cada região e mais especificamente da refinaria, respeitando as características do óleo.

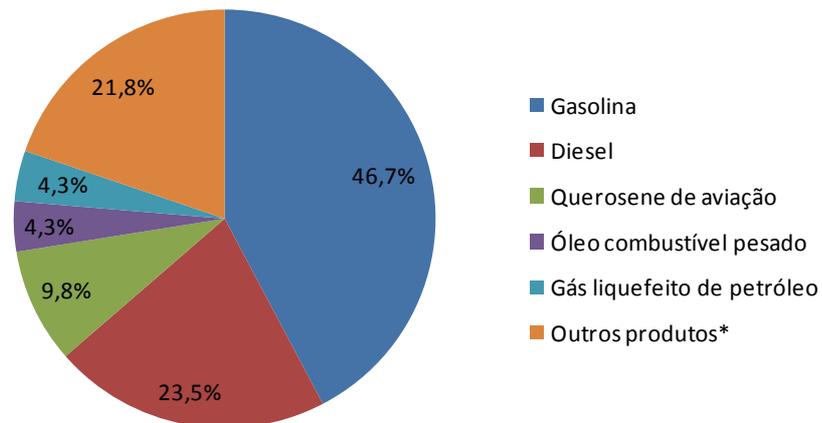
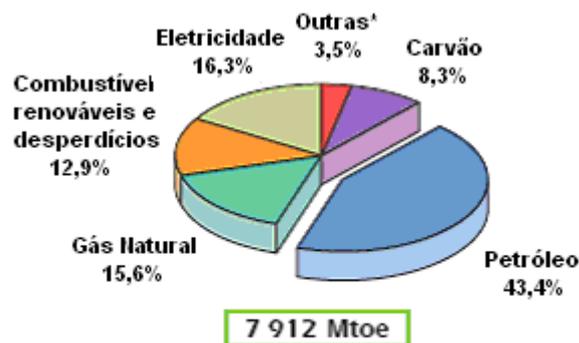


Gráfico 6 – Produtos obtidos a partir de um barril de petróleo¹³.

Fonte: GAO, 2005, p.1.

*Outros produtos incluem coque, asfalto, lubrificantes, matéria-prima petroquímica, etc.

A elevada concentração energética, facilidade de extração e transporte e a possibilidade de transformação em diversos outros produtos, principalmente em combustíveis, tornaram o petróleo a base do desenvolvimento mundial e uma fonte energética de difícil substituição. Individualmente é o recurso com maior participação na matriz energética global. Como apresentado no gráfico 7, produzido pela *International Energy Agency*, mais de 43% da energia consumida em todo o mundo é proveniente do petróleo.



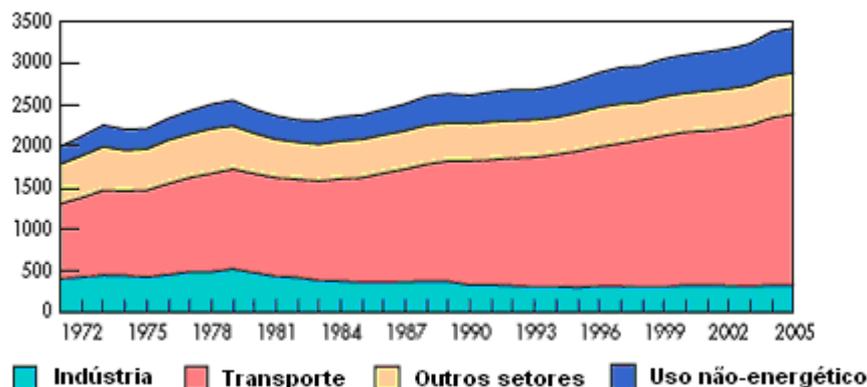
* Outras fontes como geotérmica, solar, eólica, etc.

Gráfico 7 – Consumo mundial de energia por fonte em 2005 (Mtoe).

Fonte: IEA, 2007, p.28.

¹³ O ganho no volume de um barril de petróleo decorre pela redução da densidade do óleo durante o processo de refinamento. A estimativa de derivados foi baseada em um barril de petróleo americano.

O óleo é à base para o funcionamento de diversos setores, principalmente o de transportes (gráfico 8). Mais de 60% do potencial energético do petróleo consumido no mundo foi utilizado por esse setor, sob a forma de seus derivados, como diesel, gasolina e outros combustíveis. O petróleo é a principal fonte energética para o segmento de transportes, independente do modal utilizado. A única forma de transporte livre do uso direto dos derivados em motores a combustão interna é o oleoduto e gasoduto.



* Outros setores compreende agricultura, comércio, serviços públicos, residencial e outros não especificados.

Gráfico 8 – Consumo de petróleo por setor, 1971 – 2005 (Mtoe).
Fonte: IEA, 2007, p.33.

Apesar da grande utilidade e consumada dependência mundial por diversos setores, a produção de petróleo em escala comercial não é tão antiga, começou há aproximadamente um século e meio atrás. A data em que foi descoberto pelo homem não é certa. Existem relatos do uso do petróleo há mais de 2000 anos, a partir de poços que brotavam espontaneamente do solo. Sua extração em escala comercial foi realizada pela primeira vez na Romênia, em 1857, com a produção de 1719 barris por ano (DICEA; ENACHESCU, 2000, p.1). Depois a exploração foi acompanhada pelos Estados Unidos, a partir do ano de 1859, em Titusville, no estado da Pensilvânia, por Edwin Drake, conhecido como Coronel Droke. A busca americana pelo petróleo começou a pedido de George Bissel, representante de um grupo de outros empresários interessados no óleo de pedra¹⁴. O empresário contratou Droke para realizar perfurações e encontrar poços com o óleo (FEROLLA; METRI, 2006, p.29).

Após consideráveis perfurações os primeiros poços foram encontrados. Era o início da era do petróleo e da corrida mundial pelo óleo. Depois da descoberta americana, diversos outros países iniciaram as atividades de exploração, como a Rússia, com início em 1863, o Canadá em 1862 e outros (ver quadro 1). Os Estados Unidos se especializaram na

¹⁴ Óleo de pedra era o nome dado ao petróleo na época, derivado do latim.

exploração do óleo e em função da Primeira Guerra Mundial receberam grandes demandas do produto, por esta razão, em 1918, chegou a ser o responsável por mais de 70% da produção mundial de barris (FANNING, 1945, p.17).

País	Ano
Bolívia	1926
Polônia	1874
Itália	1865
Canadá	1862
Alemanha	1880
Áustria	1933
Hungria	1937
Inglaterra	1918
Argentina	1907
Trinidad Tobago	1908

Quadro 1 – Data de descoberta dos primeiros poços de petróleo em alguns países.
Fonte: FANNING, 1945, p.29.

O Brasil iniciou a exploração do petróleo tardiamente. O mundo produzia aproximadamente cinco milhões e meio de barris por dia quando em 29 de julho 1938 foi dado início à perfuração do primeiro poço de petróleo com êxito no Brasil, chamado de DNPM-163, e realizada na cidade de Salvador. Somente no começo do ano seguinte, em 21 de janeiro de 1939, o petróleo chegava à superfície (PETROBRAS, 2008a). Mesmo com a descoberta em 1939, somente dois anos mais tarde, na cidade de Candeias, o Brasil começou extraí-lo em escala comercial.

A possibilidade de obter grandes quantidades de petróleo, a industrialização da economia e a crescente dependência das exportações do produto eram as condições necessárias para a criação de uma estatal com o propósito de garantir a auto-suficiência do País. Em 1953, por força da lei 2004/53, foi criada a empresa Petróleo Brasileiro S.A., a Petrobrás. Com o objetivo de se tornar independente do petróleo externo, a Petrobrás contratou em 1954 o geólogo Walte Link para determinar as áreas com possibilidade de acúmulo do óleo. No ano de 1961 o trabalho final fora apresentado, com conclusões polêmicas (COELHO, 2007, p.94). Segundo o Geólogo Link, o Brasil não dispunha de reservas em terra, devendo buscar petróleo em poços abaixo do mar.

A falta de recursos financeiros e tecnológicos impediu o êxito da companhia durante anos, que tentou sem sucesso a descobertas de poços no continente. A especialização da Petrobrás no segmento chamado de *offshore* – exploração de petróleo em águas profundas –, a partir da criação do Programa de Capacitação Tecnológica em Águas Profundas, o

PROCAP, iniciado em 1986, transformou a história da empresa, que alcançou a liderança mundial em explorações dessa natureza.

Em 1997 a Petrobrás perdeu o monopólio do mercado de petróleo em virtude da Lei 9.478/97. A nova legislação permitiu a entrada de outras companhias para a exploração do produto em áreas leiloadas pela Agência Nacional do Petróleo (ANP). Ainda assim, mesmo com a perda do direito de explorar alguns poços, a extração do óleo pela petrolífera nacional aumentou de forma significativa, principalmente a partir de meados da década de 1990. Dessa forma, em 2006, o País alcançou a auto-suficiência, concretizando o ideal desde a fundação da Petrobrás (ver gráfico 9).

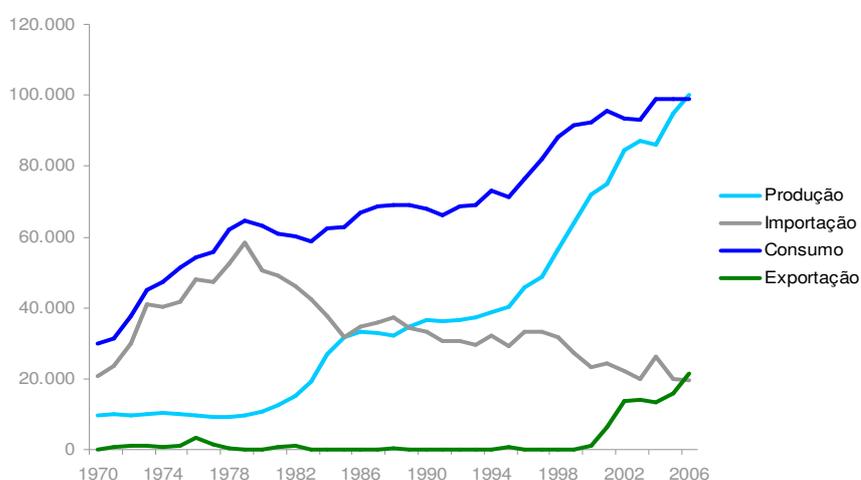


Gráfico 9 – Produção, importação e consumo de petróleo - 10^3 m^3 (1970 – 2006).
Fonte: MME, 2007a.

Além da auto-suficiência, o avanço tecnológico na exploração de petróleo em águas profundas trouxe resultados satisfatórios ao País. No final de 2007 foi descoberto o poço de Tupi, com capacidade entre 5 e 8 bilhões de barris. No começo do presente ano a descoberta do poço na Bacia de Santos, abaixo da camada pré-sal, com volume de aproximadamente 33 bilhões de barris, colocou o País entre os dez com as maiores reservas do mundo. Agora a Petrobrás está avaliando a viabilidade econômica de extração do petróleo encontrado. Se viável, segundo o cenário atual, a estimativa é que esse petróleo comece a ser explorado somente daqui a oito ou dez anos.

Levantamentos realizados pelo *BP Statistical Review*, *Oil ADN Gas Journal* e *World Oil*, sobre reservas provadas de petróleo, colocavam o Brasil entre os 20 primeiros países do mundo (ver tabela 4). Na América do Sul, somente Brasil e Venezuela fazem parte do grupo dos vinte países com as maiores reservas mundiais. A distribuição das reservas de petróleo é desigual em relação aos continentes. Segundo Porto (2006, p.32) “dentre os 182 países soberanos, 112 são produtores de grandes ou pequenas quantidades de petróleo. Os 42

principais produtores fornecem mais que 98% do total, sendo os 2% restantes divididos pelos outros 70 países”.

País	BP Statistical Review Final de 2005	Oil and Gas Journal Janeiro/2007	World Oil Final de 2005
Arábia Saudita	264,211	262,300	262,175
Iran	137,490	136,270	131,500
Iraque	115,000	115,000	115,000
Kuwait	101,500	101,500	100,875
Emirados Árabes	97,800	97,800	70,250
Venezuela	79,729	80,012	52,650
Rússia	74,436	60,000	74,400
Kazaquistão	39,620	30,000	-
Líbia	39,126	41,464	34,050
Nigéria	35,876	36,220	37,175
Estados Unidos	29,922	21,757	21,757
Canadá	16,500	179,210	12,025
China	16,038	16,000	16,189
Qatar	15,207	15,207	20,346
México	13,670	12,352	12,353
Argélia	12,200	12,270	11,350
Brasil	11,772	11,773	11,925
Norway	9,691	7,849	8,033
Angola	9,035	8,000	9,050
Azerbaijão	7,000	7,000	-

Tabela 4 - Reservas provadas de petróleo (vinte maiores – em bilhões de barris).
Fonte: EIA, 2008.

As previsões quanto à disponibilidade de petróleo são as mais variadas. Alguns acreditam em reservas para mais dez anos, enquanto outros acreditam em mais quarenta. Segundo empresas petrolíferas, o governo norte-americano, a OCDE e a OPEP, existe petróleo para as próximas quatro décadas e seu preço irá subir pouco acima da inflação nos próximos anos (FERROLA; METRI, 2006, p.113). Segundo Porto (2006, p.39), o simples cálculo de dividir as reservas estimadas pelo consumo anual para se chegar à duração do petróleo equivale a acreditar que o petróleo será consumido sem parar até que um dia, por volta de 2045, ele simplesmente acabe. Mas o processo não ocorre assim, seu declínio começa após o poço ultrapassar a metade do petróleo disponível.

Segundo Ferrola e Metri (2006, p.113), existe uma corrente de especialistas que afirma que o importante não é o momento em que a última gota de petróleo será consumida, mas quando a produção alcançar o ponto máximo, pois a partir de então ela será decrescente e o preço irá disparar. Esses especialistas acreditam que o ponto máximo ocorrerá entre 2005 e 2010. Segundo Porto (2006, p.30), estudos realizados pelo professor Kenneth S. Deffeyes da Universidade de Princeton, publicados em 2001, com visão compartilhada por muitos outros especialistas, afirmam que o ponto de queda da produção

mundial de petróleo ocorrerá em algum momento entre 2004 e 2008. Mesmo com o aumento das reservas de petróleo (ver gráfico 10), estima-se que o Brasil já tenha ultrapassado seu pico de produção convencional desde 1997 e atingirá seu pico de produção global por volta de 2012, exceto que consiga explorar as reservas abaixo da camada de sal, descobertas na Bacia de Santos (PORTO, 2006, p.72), descritas anteriormente.

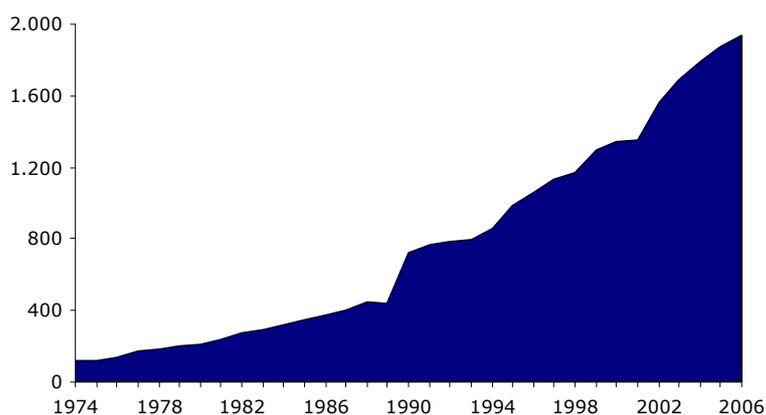


Gráfico 10 – Reservas provadas de petróleo – 10^6 m^3 (1974 – 2006).
Fonte: MME, 2007a.

1.2.1.2. Gasolina

A partir do petróleo é possível produzir uma grande variedade de produtos. A gasolina é um de seus principais derivados, composta por uma complexa mistura de mais de 400 hidrocarbonetos e “em menor quantidade, por substâncias cuja fórmula química contém átomos de enxofre, nitrogênio, metais, oxigênio etc.” (PETROBRÁS, 2008d). No Brasil são comercializadas gasolinas do tipo A e C, comum e Premium. A composição da gasolina varia de acordo com o fabricante, porém, devem respeitar os limites estabelecidos pela ANP. Para o tipo C, conforme determinação da Portaria 309 da ANP, os limites máximos são de 57% de seu volume de hidrocarbonetos aromáticos, 38% de olefínicos, 1,2% de benzeno, 0,12% da massa em enxofre e outros, como o chumbo, composto já não mais utilizado no Brasil, substituído pelo álcool anidro.

A gasolina surgiu antes mesmo dos motores ciclo Otto. Era parte do processo de obtenção de querosene, porém, considerado um subproduto indesejado, o qual era descartado. Com o surgimento dos motores a combustão interna a gasolina passou a ser a principal opção de combustível. A alta concentração energética, sua volatilidade e compressibilidade permitiam que fosse facilmente misturada com o oxigênio e comprimida, liberando grande quantidade de energia no processo de combustão.

A adoção da gasolina como combustível impulsionou o avanço em seu processo de produção. A obtenção do combustível era realizada pelo processo de destilação do petróleo, como sua fração mais volátil. Com o passar dos anos outros métodos de produção foram desenvolvidos, como o craqueamento térmico, utilizado até 1939, sendo então substituído pelo craqueamento catalítico e outros descobertos e utilizados posteriormente (QMCWEB, 2008).

O melhoramento dos métodos de produção resultou em diversas mudanças. No começo do século XX a gasolina representava de 15 a 20% de um barril de petróleo, hoje chega a aproximadamente 45%; tinha octanagem em torno de 50, atualmente está entre 90 e 100; e a taxa de compressão era de 4 para 1, hoje é de 1 para 10. Essas melhorias surgiram em razão dos aprimoramentos na extração da gasolina, a partir das pesquisas do Dr. William M. Burton, responsável pela utilização em escala do processo de craqueamento, com sua primeira patente em 1912 (RAYMOND, 1997, p.65).

O processo de craqueamento foi aprimorado e como resultado dos trabalhos do pesquisador francês Eugene Houdry, originou-se o craqueamento catalítico, transformando a indústria automobilística. Em 1936 esse processo entrou em operação em escala comercial, atendendo as necessidades dos motores de alta octanagem, necessários na Segunda Guerra Mundial (RAYMOND, 1997, p.65). Era o início da fase de aprimoramentos constantes do processo de obtenção da gasolina e da melhoria de sua qualidade. Com grande potencial de produção a gasolina passava a ser o combustível mais utilizado nos motores Otto.

Além de combustível para carros, no passado a gasolina foi muito utilizada em motores de ônibus e caminhões. Com o surgimento dos motores Diesel, dotados de maior eficiência, a gasolina teve seu uso direcionado para o segmento de automóveis de menor porte, como carros de passeio e utilitários. Apesar disso, seu uso não se limita aos automóveis, ela também é aplicada como combustível para aviões de pequeno porte, com motores a centelha. Esse tipo de gasolina possui características diferenciadas da convencional, apresenta desempenho superior e exige cuidados especiais em sua manipulação. Fora desse tipo de aplicação ela ainda pode ser utilizada como solvente para remover substâncias como gorduras, contudo, o volume consumido para essa finalidade é muito baixo.

Com relação ao uso, o Brasil consome modesta quantidade de gasolina, se comparado aos Estados Unidos, que sozinhos utilizaram no ano de 2001, de acordo com o relatório produzido pelo *United States Government Accountability Office*, 43% de toda a produção mundial. O gráfico 22, apresentado a seguir, demonstra o percentual do produto consumido por regiões.

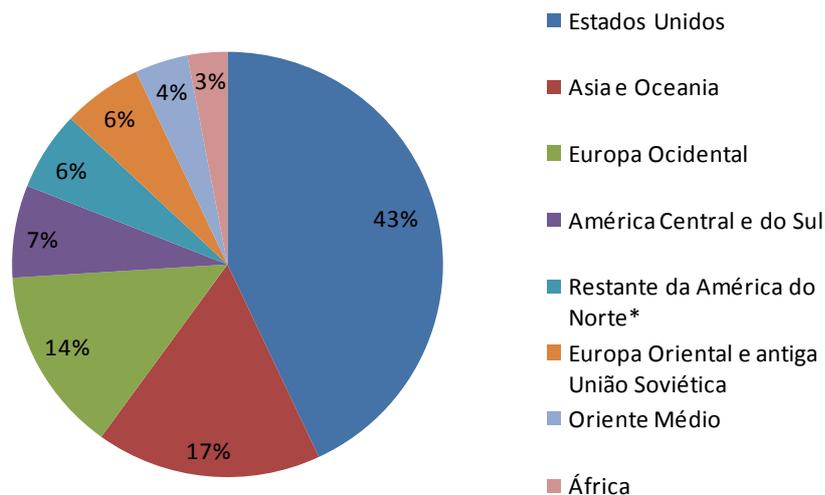


Gráfico 11 – Consumo mundial de gasolina em 2001.

Fonte: GAO, 2005, p.19.

*Grupo formado pelo Canadá, México, Bermuda, Greenland, Saint Pierre e Miquelon.

O consumo nacional oscilou e caiu, principalmente na década de 1980, em função do Programa Nacional do Álcool (ver gráfico 12). Com o enfraquecimento do programa o País aumentou novamente o consumo até o final da década de 1990. No final de 2006 o Brasil utilizou aproximadamente 18 milhões de m³ de gasolina, quase que em sua totalidade pelo setor de transporte rodoviário em veículos de pequeno porte. Apesar do crescimento no consumo o Brasil sempre foi auto-suficiente em gasolina, chegando a exportar 2,7 milhões de m³ no ano de 2006.

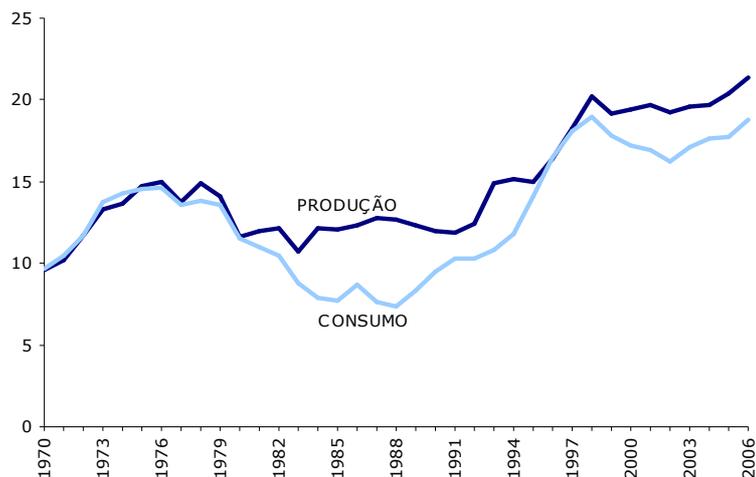


Gráfico 12 – Produção e consumo de gasolina no Brasil (1970 – 2006)

Fonte: MME, 2007a.

Apesar da quantidade utilizada do combustível, os avanços quanto à qualidade do produto e no processo de combustão dos motores, permitiu que as emissões, em

comparação com períodos anteriores, fossem reduzidas de forma significativa. Um veículo que antes da década 1980 emitia 54g de monóxido de carbono por quilômetro percorrido, em 2007 emitia 0,33g, quase 164 vezes menos, conforme o gráfico 13.

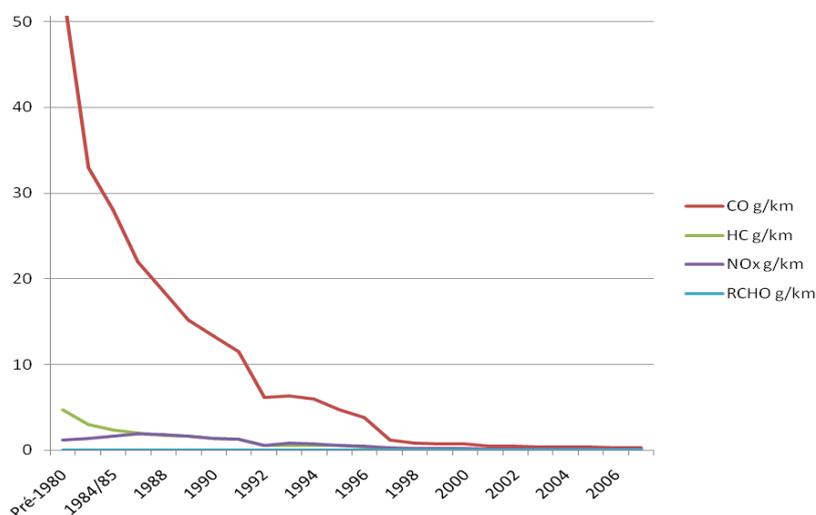


Gráfico 13 – Emissões de veículos leves a gasolina tipo C (Pré 1980 – 2007)¹⁵.
Fonte: CETESB, 2008, p.196.

1.2.1.3. Diesel

O óleo diesel foi desenvolvido para uso nos motores desenvolvidos por Rudolf Diesel em substituição aos óleos vegetais *in natura*, primeiros combustíveis utilizados nesse tipo de motor. A abundância do petróleo, a facilidade de produção desse combustível e as características do produto permitiram que o óleo se consolidasse como a melhor opção para os motores de compressão.

O Petrodiesel, óleo diesel ou simplesmente diesel é um derivado do petróleo, uma fração destilada, constituída predominantemente por hidrocarbonetos alifáticos, obtida a temperaturas entre 250° C e 400° C (ANP, 2008d). Sua composição varia muito “devido a diferentes origens do petróleo utilizado como matéria-prima e diferentes processos de refino” (BRAUN; APPEL; SCHMAL, 2003, p.473), porém, costuma ser constituído de aproximadamente 75% de hidrocarbonetos saturados – primariamente parafinas, incluindo n, iso e cicloparafinas –, e 25% de hidrocarbonetos aromáticos – incluindo naftalenos e alquilbenzenos – (HASELI; NATERER; DINCER, 2008, p.1790). Os principais grupos químicos são: parafinas, naftalenos e aromáticos (DISRA, 2001, p.9), responsáveis pela

¹⁵ Os índices de emissões são baseados na média ponderada de cada ano-modelo pelo volume da produção.

definição das especificações e qualidade do combustível, que costumam variar de acordo com o país que o produz.

Atualmente existem dois tipos de diesel, o tradicional e o sintético, chamado de Diesel F-T, obtido a partir do processo de conversão Fisher-Tropsch, que será abordado em capítulo posterior. O diesel tradicional é obtido a partir do petróleo em processo de refino com algumas etapas semelhantes a da gasolina. Da destilação atmosférica são obtidas algumas frações, as quais podem ser agregadas a outras como a nafta, o querosene e o gasóleo leve de vácuo, resultando no produto conhecido como óleo diesel. A incorporação destas ou de outras frações dependerá da demanda de derivados de petróleo pelo mercado consumidor. Um exemplo dessa variação ocorre no Brasil, enquanto na maioria dos países um barril de petróleo é convertido entre 15 e 25% em diesel, aqui a conversão chega a 34% (PETROBRÁS, 2008e), em razão da grande demanda, principalmente, pelo setor de transportes.

O caso da Europa é semelhante ao Brasil quanto à maior utilização do óleo diesel. A diferença é que no caso brasileiro a demanda é oriunda da frota de caminhões e ônibus, enquanto na Europa, além desses veículos, os automóveis de passeio também consomem elevado volume do óleo, conforme pode ser observado no gráfico 14.

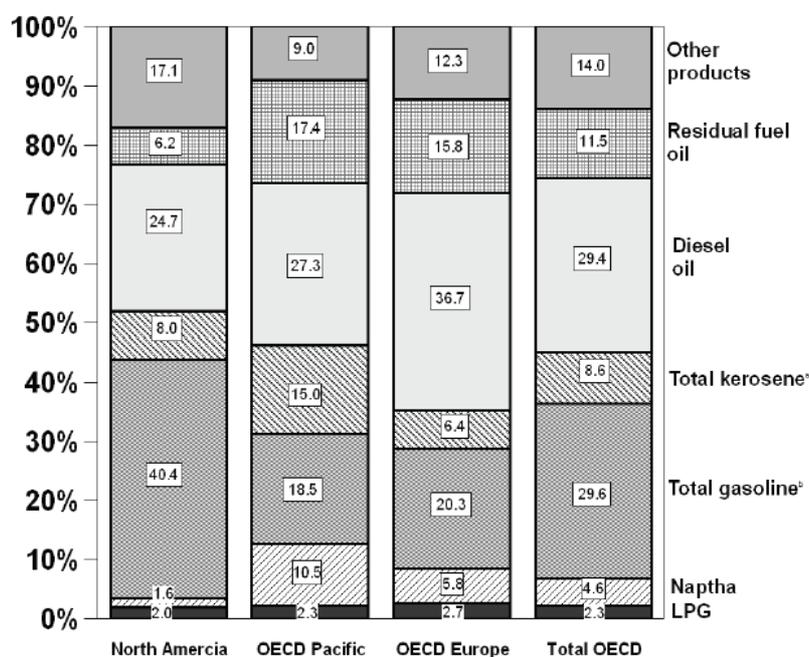


Gráfico 14 – Percentual do refino de um barril de petróleo por tipo de produto.
 Fonte: DAVIS; DIEGEL, 2008, p.11.

Apesar do alto percentual de diesel obtido a partir de um barril de petróleo, como o consumo interno do combustível é elevado, o Brasil precisa importar o produto para suprir a demanda local. No ano de 2006 o País importou 8,73% de todo o diesel consumido, o

equivalente a 3,5 bilhões de litros, percentual inferior ao alcançado no ano de 2001 que chegou a 17,31%, cerca de 6,5 bilhões de litros. Mesmo com a redução o volume continua sendo considerado elevado. A queda nas importações iniciada a partir do ano de 2002 não se manteve por muito tempo. Desde o ano de 2005 o País vem importando um percentual cada vez maior em decorrência do aumento no consumo e da limitada capacidade de produção nacional, conforme pode ser observado no gráfico 15.

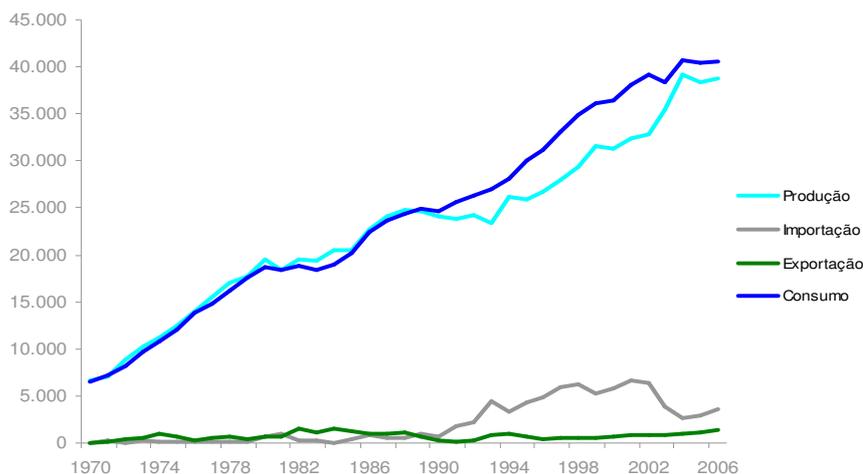


Gráfico 15 – Produção, importação, consumo e exportação de diesel - 10³ m³ (1970 – 2006).
Fonte: MME, 2007a.

Em termos energéticos o diesel quando utilizado em motores de ignição por compressão apresenta melhores resultados que os demais combustíveis em decorrência de suas características. Enquanto os motores Otto a gasolina apresentam taxa de compressão por volta de 9:1 e os a álcool 12:1, os motores a diesel podem chegar à taxa de 20:1 em misturas estequiométricas, resultando em maior eficiência energética. Além da concentração energética, o diesel possui uma característica que o permite ser injetado na câmara de combustão, mesmo ela estando com alta pressão, sem iniciar um processo de combustão espontâneo externo à câmara. Essa é somente uma das razões de sua aplicação ao invés de outros combustíveis nesse tipo de motor.

O uso do óleo diesel apresenta uma série de vantagens em relação aos demais combustíveis, principalmente, econômicas, entretanto, sob o ponto de vista ambiental e da saúde humana, o diesel causa impactos extremamente negativos. Uma pesquisa realizada pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB no ano de 2007 apresentou os índices médios de emissões de veículos movidos a gasolina, álcool e diesel na Região Metropolitana de São Paulo. Os resultados da pesquisa, apresentados na tabela 6, demonstram o quanto o diesel é mais poluente que os demais combustíveis. De todas as comparações os motores a diesel somente são menos poluentes que os antigos motores a

álcool quanto à emissão de CO. Como esse tipo de motor a álcool não é mais fabricando, tendo sido substituído pelo *flex*, que emite bem menos CO, os veículos a diesel reassumiram a liderança no ranking das emissões.

FONTES DE EMISSÃO	TIPO DE VEÍCULO	FATOR DE EMISSÃO (g/km)				
		CO	HC	NO _x	SO _x	MP
TUBO DE ESCAPAMENTO	GASOLINA C ¹	11,09	1,14	0,74	0,07	0,08
	ÁLCOOL	19,95	2,15	1,29	--	--
	FLEX (ÁLCOOL)	0,50	0,13	0,08	--	--
	DIESEL ²	14,20	2,21	10,28	0,14	0,52

Tabela 5 – Fatores médios de emissão de veículos em uso na Região Metropolitana de SP em 2007.

Fonte: CETESB, 2008, p.92.

1 – Gasolina C, contendo 22% de álcool anidro e 350 ppm de enxofre (massa).

2 – Diesel tipo metropolitano com 350 ppm de enxofre (massa).

A qualidade do diesel tem melhorado de forma significativa nos últimos anos, principalmente quanto à redução do nível de enxofre. A Petrobrás inseriu no mercado da região metropolitana de São Paulo, Santos, Campinas e São José dos Campos, no ano de 2005, o diesel metropolitano S 500, com limite de 500 ppm (partes por milhão) de enxofre, em substituição ao diesel metropolitano anterior que continha 2000 ppm de enxofre. No ano de 2006 a empresa lançou o Diesel Podium, com especificação máxima de 200 ppm, quantidade dez vezes menor que a contida no diesel comercializado até o ano de 2004 (CETESB, 2008, p.204).

Segundo Mendes (2004, p.136), em 2004, o teor de enxofre contido no diesel brasileiro era relativamente alto, fator este que impedia o uso de sistemas de controle de emissões mais sofisticados. Esses sistemas tem na redução do SO_x uma condição importante para a queda no volume da emissão de outros poluentes. O teor de enxofre está diretamente relacionado com o tipo de petróleo utilizado e quanto menor este nível, maior será o preço. A opção disponível é reduzir o teor de enxofre no processo de refino, operação que demanda equipamentos e estruturas com altos valores de investimentos (AZUAGA, 2000, p.37). Segundo Branco, Blumberg e Walsh (2004, p.9) “estima-se que serão necessários investimentos de aproximadamente US\$ 2 bilhões para o Brasil reduzir o nível atual de enxofre do diesel para 10 ppm e da gasolina para 30 ppm”.

A opção adotada foi a comercialização de dois tipos de diesel. Um deles chamado de metropolitano e é comercializado em algumas capitais e regiões metropolitanas onde existe grande concentração de veículos movidos com o combustível. O outro se chama diesel interior e é comercializado nas demais localidades. Esse último apresenta concentrações de enxofre 10 vezes superiores ao metropolitano de última geração, que tem cerca de 200 ppm. A adoção do mesmo combustível com níveis inferiores de enxofre elevaria os custo de produção em razão da necessidade de instalar ou ampliar as unidades de dessulfurização

de diesel ou de importar maior quantidade de petróleo ou do próprio óleo com menores teores de enxofre (MENDES, 2004, p.136).

Além do problema do enxofre e conseqüentemente as emissões de material particulado e dióxido de enxofre, os veículos a diesel lançam no ar grande quantidade de dióxido de carbono. Apesar de não ser nocivo à saúde humana, como os outros que foram mencionados, este gás é causador do efeito estufa, responsável pelo aquecimento global. No ano de 2002 o Ministério da Ciência e Tecnologia publicou o Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa, que indicou os maiores índices de emissão de CO₂ para o uso do diesel, inclusive superior ao somatório de todos os outros combustíveis, como pode ser observado na tabela 6.

	Emissões de CO ₂					
	1990	1991	1992	1993	1994	%
Por Combustível						
Gasolina	21.620	23.406	23.288	24.494	26.825	28
Querosene de Aviação	5.677	5.960	5.616	5.920	6.054	6,4
Gás Natural	5	5		48	89	0,09
Óleo Diesel	51.367	53.528	54.476	55.859	57.743	61
Óleo Combustível	2.451	2.257	2.425	2.892	2.619	2,8
Carvão Vapor	20	8				
Out. Prod Sec Petróleo	879	889	954	777	995	1,1
Total Fóssil	82.020	86.052	86.760	89.989	94.324	100

Tabela 6 – Emissões de CO₂ no Brasil pelo setor de transportes por tipo de combustível (1990 – 1994 em Gg).
Fonte: COPPE, 2002, p.49.

O próximo inventário nacional está previsto para ser apresentado em dezembro do presente ano. Mesmo com as melhorias tecnológicas nos combustíveis e nos motores a diesel, o volume de emissão de CO₂ vem aumentando em conseqüência da elevação da frota de veículos que operam com o óleo. Segundo Vianna (2008, p.38), as emissões totais da frota nacional de veículos a diesel já alcançaram 82,2 Mt de CO₂.

1.2.1.4. Carvão mineral

O carvão mineral foi o primeiro combustível fóssil utilizado em grande escala no mundo. Durante muitos anos manteve-se como a principal fonte de energia, até meados da década de 1960, quando perdeu posição para o petróleo, conforme demonstrado no gráfico 16. Mesmo com a redução no consumo, o carvão ainda é muito utilizado na indústria e na geração de energia elétrica. Atualmente é o combustível mais aplicado na produção desse

tipo de energia, sendo responsável por 40% da produção mundial de energia elétrica (WCI, 2007).

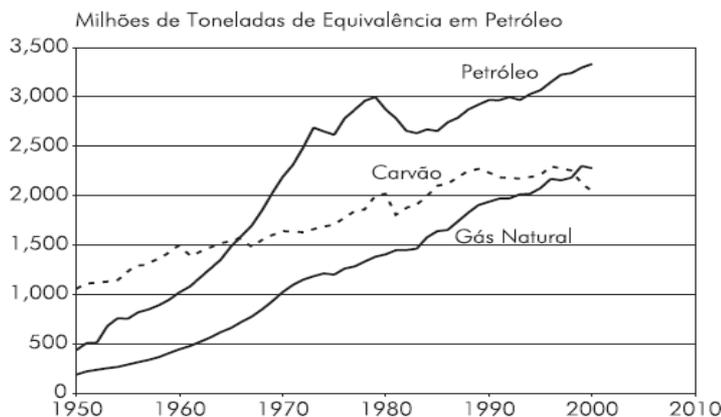


Gráfico 16 – Consumo mundial de combustíveis fósseis, 1950 – 2000.
Fonte: BROWN, 2003, p.119.

Com a redução do índice de crescimento do consumo de carvão, o petróleo se estabeleceu como a principal fonte de energia do planeta. Apesar dos números indicarem uma aparente substituição, o aumento da utilização do petróleo não está diretamente relacionado com a queda no uso do carvão. Na forma como são utilizados atualmente, eles não concorrem entre si devido a distinção de suas respectivas aplicações. Enquanto o setor de transportes consome mais de 60% do petróleo mundial, o setor industrial consome 78% de todo o carvão mineral utilizado no mundo, de acordo com o gráfico 17.

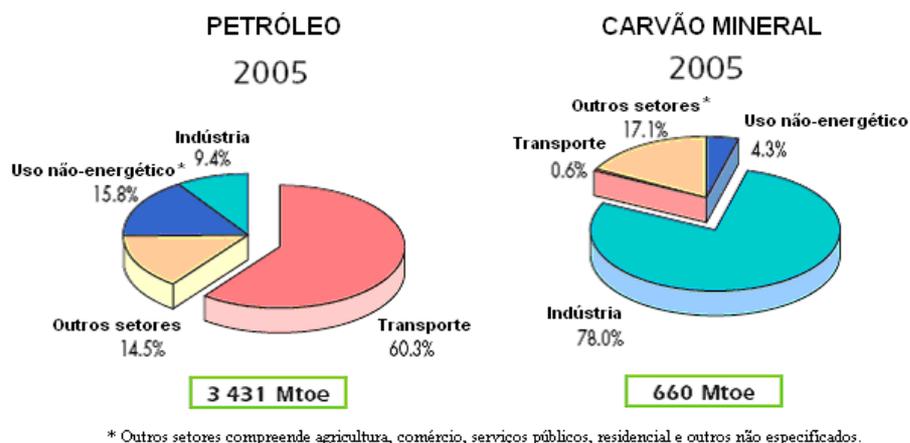


Gráfico 17 – Consumo mundial de petróleo e carvão mineral por setor em 2005.
Fonte: IEA, 2007, p.32-33.

Apesar dos impactos ambientais decorrentes da utilização do carvão, principalmente em razão da emissão de poluentes atmosféricos, e mesmo com disponibilidade de fontes

alternativas, como o gás natural e outras renováveis, no futuro ele poderá ser mais utilizado. O surgimento de novas tecnologias para a redução ou estocagem das emissões, o aumento da eficiência energética e a possibilidade da utilização do carvão como base para a produção de combustíveis automotivos (WEC, 2007, p.3), indicam a possibilidade de aumento significativo em seu consumo. Comparando os anos 2006 e 2007, enquanto o consumo mundial de derivados do petróleo cresceu 1,2%, o de carvão aumentou em 4,5% para o mesmo período (BP, 2008, p.14 e 35).

A partir do carvão é possível produzir diretamente energia ou alguns combustíveis sintéticos a partir de alguns processos plenamente dominados. A tecnologia para a conversão, chamada de Fisher-Tropsch, foi desenvolvida na década de 1920, pelos alemães Franz Fisher e Hans Tropsch e teve grande uso na Alemanha, em função da escassez do petróleo e abundância do carvão. O processo mais utilizado é o FT, que consiste basicamente na produção de hidrocarbonetos a partir da mistura do carbono contido no carvão com outras fontes de hidrogênio, como a água (RIBEIRO; REAL, 2006, p.20). A produção de combustíveis sintéticos a partir do carvão já é realizada por alguns países, como a África do Sul, que o fabrica em escala comercial desde 1950 (WEC, 2007, p.3).

Fatores como a melhor distribuição geográfica das reservas e o volume ainda disponível para uso, associados às novas tecnologias, indicam a continuidade de aumento no consumo de carvão (gráfico 18), principalmente para a geração de energia elétrica. Mesmo diante da elevação, segundo relatório do *World Energy Concil* (2007, p.2), se mantido os atuais níveis de consumo, as reservas de carvão disponíveis no mundo supririam a demanda de mais 150 anos.

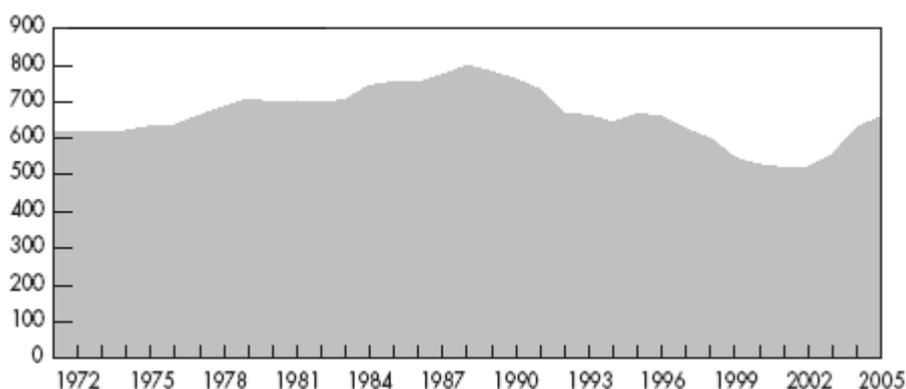


Gráfico 18 – Consumo mundial de carvão mineral, 1971 – 2005 (Mtoe).
Fonte: IEA, 2007, p.32.

As maiores reservas de carvão do mundo estão nos Estados Unidos, seguidos por Rússia, China, Índia, Austrália e outros países, conforme o gráfico 19. O Brasil possui

reservas relativamente pequenas quando comparadas com os países líderes, porém, a quantidade disponível representa um potencial energético significativo para aplicações em diversos setores, inclusive o de transportes.

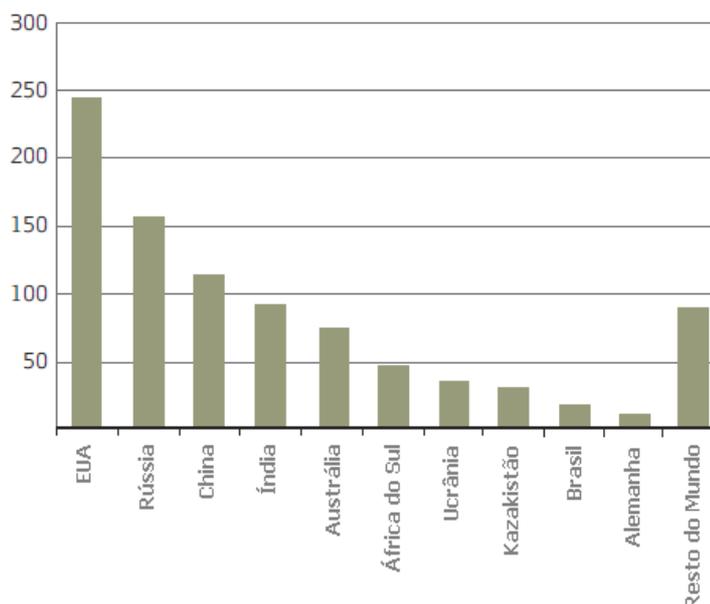


Gráfico 19 – Reservas mundiais de carvão no final de 2005 (bilhões de toneladas).
Fonte: WCI, 2006, p.6.

No Brasil as reservas medidas de carvão mineral no ano de 2005 eram de mais de seis bilhões de toneladas, podendo ultrapassar 20 bilhões se consideradas as reservas indicadas e as inferidas¹⁶ (DNPM, 2006, p.2). Desse total, entre as medidas e estimadas, mais de 90% estão localizadas no Rio Grande do Sul, um pouco mais de 9% estão em Santa Catarina e o restante, aproximadamente 0,5%, estão distribuídas entre Paraná, São Paulo e Maranhão (DNPM, 2006, p.136). Apesar da baixa qualidade de grande parte do carvão existente no Brasil, o potencial energético contido nessas reservas poderá ser de grande valia no futuro.

1.2.1.5. Gás Natural

O gás natural (GN) pode ser obtido a partir de material fóssil ou da biomassa. O gás produzido a partir da biomassa é conhecido por biogás, produzido a partir da digestão anaeróbia de biomassa vegetal ou animal (RIBEIRO; REAL, 2006, p.28). A descoberta científica do biogás ocorreu por volta de 1880 quando Ulysse Gauon, aluno de Louis

¹⁶ Reservas indicadas são baseadas em medidas, amostras e extrapolações até distância razoável, com considerável probabilidade de acerto. Já as reservas inferidas são baseadas em estimativas do volume ou tonelagem a partir do conhecimento geológico do depósito, havendo pouco trabalho de pesquisa.

Pasteur, realizou experimentos com esterco para a produção do biogás. O experimento foi posteriormente apresentado para a Academia de Ciências onde fora apresentado o potencial do gás como fonte de aquecimento e iluminação (COSTA, 2006, p.36).

O biogás pode ser produzido a partir do lixo, em estações montadas normalmente em aterros sanitários, do esterco de animais, em especial do gado e porcos, e do esgoto, em parte, originário de estações de tratamento de efluentes domésticos ou industriais (ZULAUF, 2004, p.36). Sua composição varia de acordo com diversos fatores como a composição dos resíduos utilizados para sua produção, o ambiente anaeróbico, a umidade, a acidez e a temperatura onde ocorrerá o processo. Fatores como os apresentados são determinantes na composição do biogás, que pode ser de metano (CH₄) – 50 a 90% do volume –, gás carbônico (CO₂)– 10 a 50% do volume – e outros gases – 1 a 5% do volume –, como o hidrogênio (H₂) e o ácido sulfídrico (H₂S) (ALVES, 2000, p.54).

Já o gás natural de origem fóssil é uma mistura de gases como o metano, propano, butano, hélio, nitrogênio (PORTO, 2006, p. 91), sulfeto de hidrogênio, vapor d'água e outros, resultando em uma mistura de hidrocarbonetos leves (MATTOS, 2001, p.113). A composição do gás bruto varia de acordo com a reserva explorada, conforme apresentada na tabela 7. O gás normalmente é retirado de rochas porosas e, não necessariamente, está associado à disponibilidade de petróleo no mesmo local (RIBEIRO, 2001, p.14).

ORIGEM	COMPOSIÇÃO EM % VOLUME						Densidade	Poder Calorífico Superior (MJ / Nm ³)
	País / Campo	Metano CH ₄	Etano C ₂ H ₆	Propano C ₃ H ₈	C ₄ e Maiores	CO ₂		
USA./Panh.	81,8	5,6	3,4	2,2	0,1	6,9	-	42,7
USA./Ashlaw	75,0	24,0	-	-	-	1,0	-	46,7
Canadá	88,5	4,3	1,8	1,8	0,6	2,6	-	43,4
Rússia	97,8	0,5	0,2	0,1	0,1	1,3	-	39,6
Austrália	76,0	4,0	1,0	1,0	16,0	2,0	-	35,0
França	69,2	3,3	1,0	1,1	9,6	0,6	-	36,8
Alemanha	74,0	0,6	-	-	17,8	7,5	-	29,9
Holanda	81,2	2,9	0,4	0,2	0,9	14,4	0,640	31,4
Pérsia	66,0	14,0	10,5	7,0	1,5	1,0	0,870	52,3
Mar do Norte	94,7	3,0	0,5	0,4	0,1	1,3	0,590	38,6
Argélia	76,0	8,0	3,3	4,4	1,9	6,4	-	46,2
Venezuela	78,1	9,9	5,5	4,9	0,4	1,2	0,702	47,7
Argentina	95,0	4,0	-	-	-	1,0	0,578	40,7
Bolívia	90,8	6,1	1,2	0,0	0,5	1,5	0,607	38,8
Chile	90,0	6,6	2,1	0,8	-	-	0,640	45,2
Brasil								
Rio de Janeiro	89,44	6,7	2,26	0,46	0,34	0,8	0,623	40,22
Bahia	88,56	9,17	0,42	-	0,65	1,2	0,615	39,25
Alagoas	76,9	10,1	5,8	1,67	1,15	2,02	-	47,7
Rio Grande do Norte	83,48	11	0,41	-	1,95	3,16	0,644	38,54
Espírito Santo	84,8	8,9	3,0	0,9	0,3	1,58	0,664	45,4
Ceará	76,05	8,0	7,0	4,3	1,08	1,53	-	52,4

Tabela 7 – composição do gás natural em diversos países.
Fonte: GASNET, 2008.

O consumo mundial de GN vem crescendo de forma muito rápida. Nos últimos cinquenta anos o consumo aumentou em 12 vezes (BROWN, 2003, p.119). O aumento no consumo é justificado por várias razões, como a distribuição das reservas, pouco menos desconcentradas que as de petróleo (ver figura 4), a baixa emissão de poluentes e variada aplicação para a produção de outros produtos. O gás natural pode ser utilizado como gás de cozinha, como combustível para veículos, na fabricação de borracha sintética, matérias plásticas e outros produtos da petroquímica (PORTO, 2006, p.91).

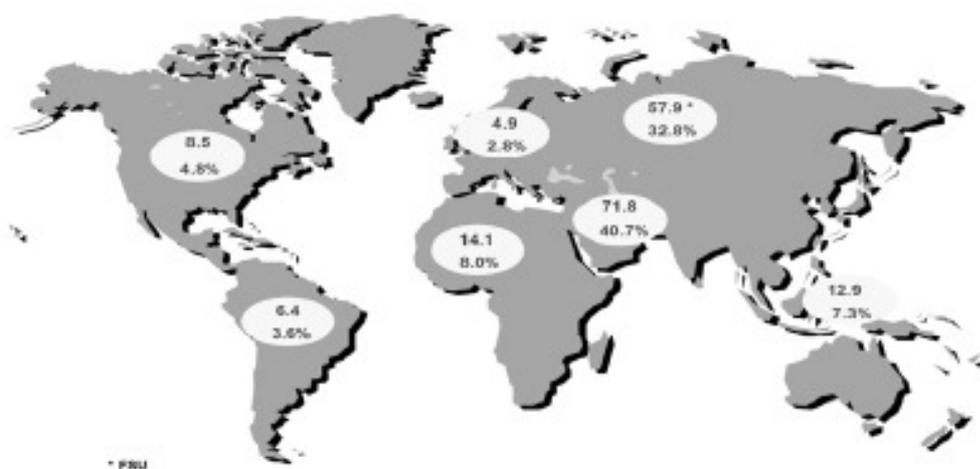


Figura 4 – Distribuição das reservas provadas de gás natural em 2005.
Fonte: WEC, 2007, p.147.

Uma das desvantagens do gás está ligada ao seu transporte. A diferença entre o local onde ele é extraído e o local do consumo exige a construção de gasodutos. Quando a construção é realizada dentro de um mesmo país o processo é simples, porém, aquelas que envolvem dois ou mais países, o processo político é mais complexo. Para resolver o problema do transporte existe uma tecnologia capaz converter o gás para estado líquido, por meio de um processo chamado de liquefação.

O gás natural foi liquefeito pela primeira vez nos Estados Unidos, na década de 1940, para ser transportado por barcos (LOURENÇO, 2003, p.37). O processo de liquefação reduz em aproximadamente 600 vezes o volume do GN, permitindo o transporte de maior quantidade em espaços menores. Depois de ser convertido para o estado líquido o GN requer instalações criogênicas, operando em pressão atmosférica e a -161°C (RIBEIRO; REAL, 2006, p.30). Apesar das vantagens da liquefação, principalmente no transporte, esse processo pode gerar perdas de até 15% do combustível, além da energia gasta para mantê-lo nesse estado e a utilizada no processo de reconversão para o estado gasoso.

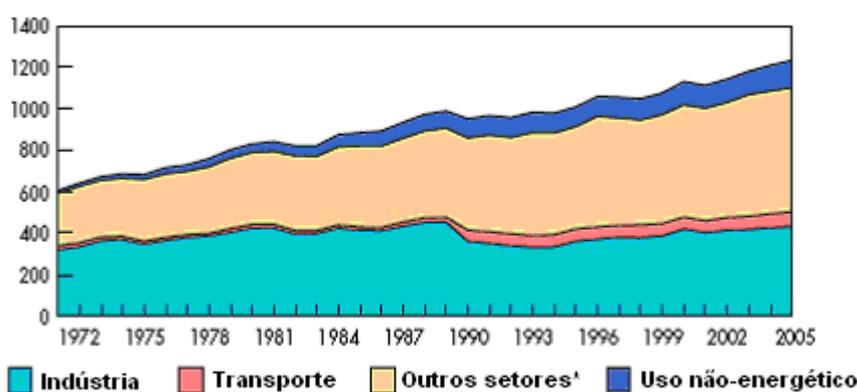
Atualmente o setor industrial é o que mais utiliza o gás natural, porém, em razão da redução nas reservas de petróleo e conseqüente queda na produção, ele poderá se tornar um dos combustíveis substitutos do óleo. O gás pode ser utilizado na produção de

combustíveis automotivos em seu estado original ou sob a forma líquida. O processo de transformação para a produção de combustíveis é semelhante ao utilizado com o carvão, chamado Fisher-Tropsch (RIBEIRO; REAL, 2006, p.32). No caso do gás, o processo de produção de combustíveis sintéticos é composto basicamente por três etapas: a reforma, conversão e refino, conforme apresentado na figura 5.



Figura 5 – Fluxo simplificado do processo de produção de combustíveis sintéticos a partir do GN.
Fonte: RIBEIRO; REAL, 2006, p.33.

Além da relação com o petróleo, a crescente preocupação com a questão ambiental e a baixa emissão de poluentes atmosféricos têm cooperado para o aumento do consumo de GN pelo setor de transportes (ver gráfico 10). O gás natural veicular – GNV, que é o GN, tem chances de ser um dos combustíveis substitutos de parte do consumo da gasolina e do diesel, dentre várias razões, pela fácil adaptação para o uso em motes ciclo Otto e Diesel. Nos veículos leves a fácil conversão e a fabricação de motores com capacidade de uso direto do GNV têm contribuído para o crescimento da frota mundial de veículos a gás, como pode ser observado no gráfico 20.



* Outros setores compreende agricultura, comércio, serviços públicos, residencial e outros não especificados.

Gráfico 20 – Consumo mundial de gás natural por setor, 1971 – 2005 (Mtoe).
Fonte: IEA, 2007, p.34.

Um dos primeiro países do mundo a utilizar o GNV em substituição à parte do diesel consumido foi a Itália. O primeiro programa começou em 1978 com a conversão de um ônibus a diesel para um sistema bicomcombustível, que permitia o uso de diesel e gás natural simultaneamente (MATTOS, 2001, p120). O uso do GNV em veículos se expandiu por vários países, principalmente, a partir do ano 2000. Atualmente são mais de seis milhões de

veículos movidos a GNV em todo o mundo, sendo o Brasil o terceiro país com a maior frota, atrás do Paquistão e da Argentina, líder mundial (IANGV, 2008).

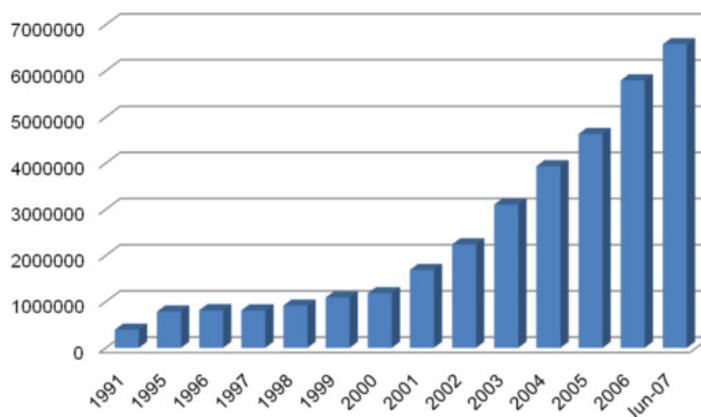


Gráfico 21 – Frota mundial de veículos movidos a gás natural, até junho de 2007.
Fonte: IANGV, 2008.

O gás natural é considerado como uma das alternativas energética para o setor de transportes nacional, com grande frota instituída de veículos movidos a GNV – uso quase que exclusivo em veículos de passeio. Apesar do espaço já ocupado pelo combustível no País, as reservas brasileiras, quando comparadas com a de países do oriente médio ou Rússia, são avaliadas como pequenas. Depois da descoberta da Bacia de Campo elas aumentaram de forma significativa, como indicado no gráfico 22, atingindo aproximadamente 365 bilhões de metros cúbicos. Ainda assim esse crescimento não deixa o País em situação confortável na relação entre as reservas e a demanda, havendo a necessidade de recorrer às importações para quantidades cada vez maiores.

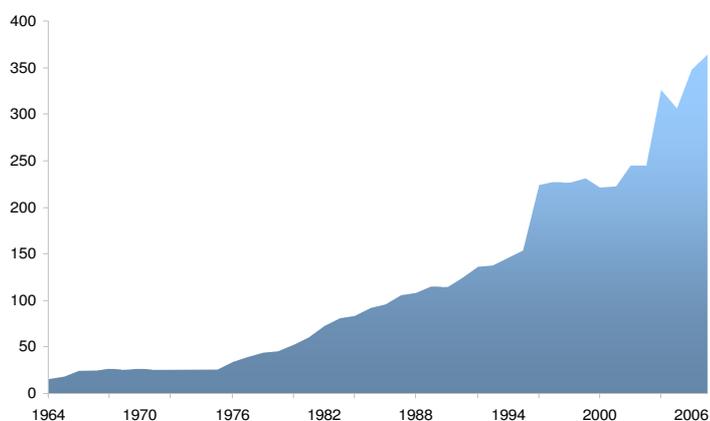


Gráfico 22 – Reservas brasileiras provadas de gás natural, 1964 – 2007 (bilhões de m³).
Fonte: ANP, 2008c.

O gás é um dos combustíveis que mais aumentaram a extração e o consumo no mundo. Segundo Brown (2003, p.119), o crescimento não ocorreu por acaso, pois à medida que o consumo aumenta, o sistema de armazenamento e distribuição também cresce, abrindo espaço para a futura economia do hidrogênio, que poderia utilizar a mesma rede utilizada atualmente pelo gás natural.

1.2.1.6. Gás liquefeito de petróleo

Assim como os demais derivados do petróleo, o gás liquefeito de petróleo (GLP) deveria ser tratado como um subproduto do óleo, como será observado no decorrer do trabalho com outros produtos, entretanto, como o GLP pode ser produzido a partir do petróleo ou do gás natural (SMITH; ROGERS; COWLIN, 2005, p19), será mais conveniente separá-lo como um tópico e assim apresentá-lo.

A composição do GLP normalmente costuma ser de 50% de propano e 50% de butano, mas pode variar, definindo a classificação do produto. O gás é considerado como rico quando possui maior proporção de propano, ou pobre, quando o inverso. Ele é produzido a partir das frações mais leves do petróleo ou das mais pesadas do gás natural. Dessa forma, quanto mais leve o petróleo, maior a quantidade possível de produção de GLP. Normalmente a produção de GLP a partir do refino do petróleo fica em torno de 1 a 4% do volume total do óleo (WLPGA, 2006, p.4).

A produção mundial de GLP no ano de 2005 foi de aproximadamente 220 milhões de toneladas, representando um crescimento médio de 2,1% ao ano, entre 2000 e 2005, conforme apresentado no gráfico 23. A perspectiva é que a demanda por GLP aumente em razão da possibilidade de sua maior aplicação em diversas áreas, inclusive o setor de transportes. Para os anos de 2005 a 2010 a previsão média de crescimento é de 3,3% ao ano.

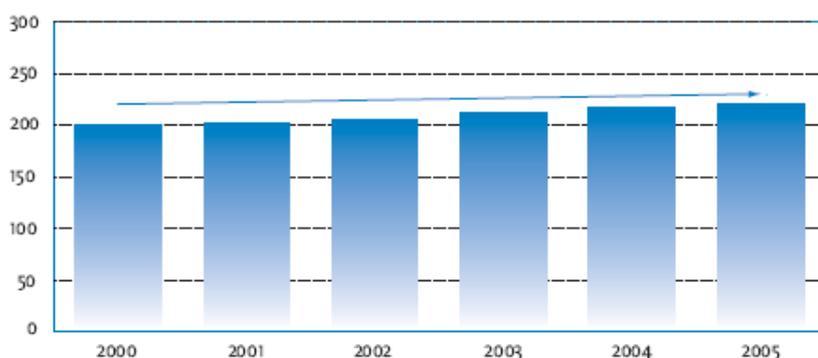


Gráfico 23 – Produção de GLP no mundo em milhões de toneladas (2000 – 2005).
Fonte: adaptado de WLPGA, 2006, p.4.

A produção mundial de GLP se origina em 60% do gás natural e 40% do petróleo (MORAIS, 2005, p.12). Dentre as regiões que mais produzem o gás está a América do Norte, quase que em sua totalidade pelos Estados Unidos na região do Golfo do México. O gráfico 24 apresenta a proporção da produção mundial de GLP no ano de 2003, sendo a América do Norte responsável na época por quase um terço da produção mundial. O volume de produção da região permaneceu quase que o mesmo nos anos seguintes, com leve crescimento em 2004 e queda em 2005, porém, em termos percentuais da participação global houve um decréscimo em razão do aumento da produção de outras regiões (GIST *et al.* 2007, p.4).

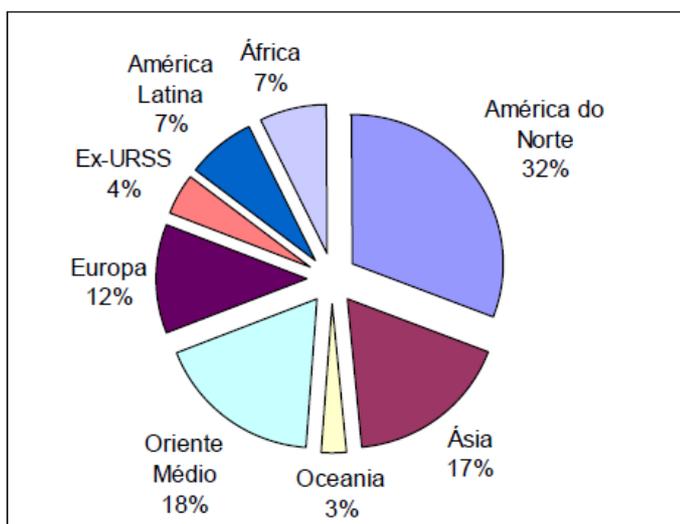


Gráfico 24 – Distribuição da produção mundial de GLP em 2003.
Fonte: MORAIS, 2005, p.12.

Diversos setores utilizam o GLP, dentre eles o residencial, que é responsável por quase a metade do consumo mundial, ficando com 48,2%, conforme o gráfico 25. A razão do elevado consumo do gás pelo setor residencial está no fato dele ser utilizado como combustível para os fogões ou em sistemas de aquecimento. No Brasil o GLP é conhecido como gás de cozinha exatamente por sua aplicação como combustível para o equipamento doméstico.

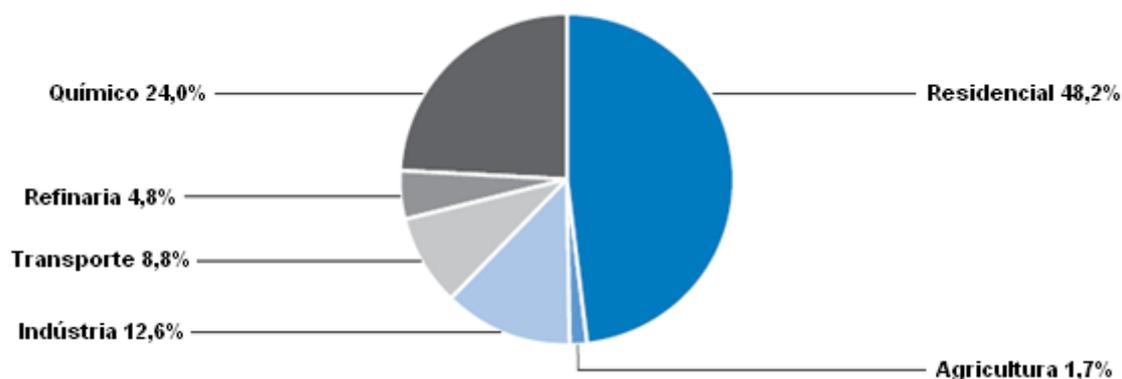


Gráfico 25 – Distribuição mundial do uso de GLP em 2007.
 Fonte: WLPGA, 2007, p.13.

Além do uso doméstico, por suas características, o GLP também pode ser utilizado no setor de transportes como combustível veicular. Nos Estados Unidos e em diversos países da Europa e da Ásia o gás é utilizado como combustível em diversos tipos de veículos. No Brasil a utilização do GLP é restrita ao uso doméstico, sendo proibida a aplicação como combustível veicular. A Lei nº. 8.176 de 1991 proibiu o uso do gás liquefeito de petróleo em qualquer tipo de motor, inclusive para fins automotivos, com pena passível de um a cinco anos de prisão para quem descumprir a lei.

Mesmo com restrições para a utilização do produto, o consumo cresceu de forma significativa nos últimos vinte anos no Brasil. A importação, apesar da elevação no volume consumido na década de 1990, caiu para pouco mais de 13% do total utilizado no ano de 2006, conforme apresentado no gráfico 26.

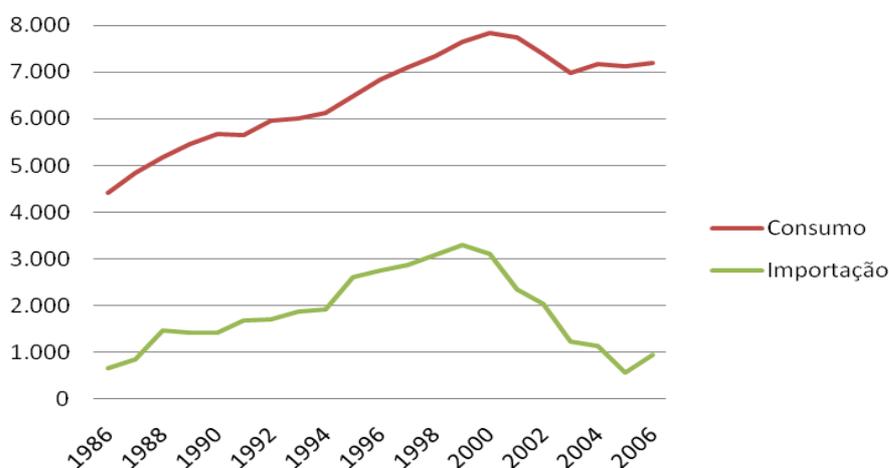


Gráfico 26 – Consumo nacional de GLP (em Tep).
 Fonte: ANP, 2008.

Atualmente no Brasil o GLP, em razão da finalidade de sua utilização, é um produto que tem o preço sob constante acompanhamento do governo. Faz parte da relação dos produtos essenciais de consumo, principalmente das classes mais baixas. Por ter a utilização restrita, o Estado pode controlá-lo de forma mais efetiva, definindo a política de produção, importação e preço.

1.2.2. Biocombustíveis

Os biocombustíveis são tão antigos quanto o petróleo. Pode-se afirmar que estão há milhões de anos na natureza sob a forma de biomassa. Já os biocombustíveis produzidos a partir de um processo de transformação pelo homem, como o álcool e os óleos vegetais, são mais recentes, ainda assim, disponíveis mesmo antes do surgimento dos motores de combustão interna. São considerados biocombustíveis os insumos extraídos da biomassa ou produzidos a partir dela, como lenha, carvão vegetal, etanol, óleos vegetais, biodiesel (URQUIAGA; ALVES; BOODEY, 2005, p.42), metanol – extraído a partir do álcool de madeira – (RIBEIRO; REAL, 2006, p.19) e outros. Os biocombustíveis são produzidos a partir das mais variadas matérias-primas, como cana-de-açúcar, milho, trigo, algodão, mandioca, soja, mamona, girassol, dendê, amendoim, óleo de frituras, restos de alimentos e muitas outras, inclusive gorduras de animais, todas elas consideradas fontes renováveis de energia.

Os biocombustíveis se apresentam como alternativa promissora, bem desenvolvida e amplamente utilizada em alguns países. Dentre os exemplos de uso em grande escala está o caso do etanol nos Estados Unidos e no Brasil, respectivamente primeiro e segundo maiores produtores do mundo (ÚNICA, 2008), e do biodiesel, tendo a Alemanha como a maior produtora da Europa e do mundo (AGRA CEAS CONSULTING; L.O. LICHT, 2006, p.15), com produção de mais de um bilhão de litros por ano. A capacidade dos biocombustíveis substituírem os combustíveis fósseis ainda diverge opiniões. Para Sachs (2005, p.28), o fim da era do petróleo pode estar chegando ao fim e as sociedades voltarão ao uso da energia solar captada pela biomassa, como nas civilizações antigas, porém, agora utilizando os avanços da biologia, química e da biotecnologia.

Um estudo publicado pela *Organisation for Economic Co-Operation and Development* – OECD sobre os impactos no mercado agrícola pela crescente produção dos biocombustíveis projetou alguns cenários considerando a existência ou não de políticas de estímulos à produção e uso de biocombustíveis. Apesar dos resultados não serem totalmente favoráveis, em relação ao custo da produção, o relatório, assim como já exposto por Sachs, apóia a idéia do potencial aumento de ganhos a partir da segunda geração de

biocombustíveis, o que poderia minimizar os impactos no mercado agrícola e representar uma alternativa importante (OECD, 2006).

Para Schmidhuber (2006, p.19), dependendo do cenário consolidado, o uso de bioenergias poderá colocar em risco a segurança alimentar e elevar o preço dos alimentos, principalmente, nos países em desenvolvimento. Msangi *et al.* (2007, p.6) afirma que se mantida a forma atualmente mais eficiente de cultivo dedicado de plantas para a produção de combustíveis, provavelmente ocorrerão grandes impactos no fornecimento de alimentos. Apesar das possíveis altas no preço e dificuldades no fornecimento de produtos agrícolas, apresentadas em determinados cenários descritos nos estudos anteriores como consequência da produção de biocombustíveis, ambos concordam que a próxima geração de tecnologias poderá resolver estes problemas de competição no uso do solo e poderá garantir a produção de combustíveis e alimentos sem grandes impactos negativos.

As posições contrárias aos biocombustíveis até o final de 2007 baseavam-se em cenários, porém, a recente alta no preço do petróleo, ultrapassando os US\$ 130 por barril, juntamente com a alta no preço dos alimentos, intensificou as críticas aos biocombustíveis. Em conferência realizada pela Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação no mês de abril de 2008, o presidente Luís Inácio rebateu as críticas realizadas pelo diretor de Direito à Alimentação da Organização das Nações Unidas, Jean Ziegler, afirmando que “o verdadeiro crime contra a humanidade será descartar *a priori* os biocombustíveis e relegar os países estrangulados pela falta de alimentos e de energia à dependência e à insegurança” (PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA, 2008, p.6).

Apesar do uso de biocombustíveis produzidos a partir do cultivo de plantas ser controverso, principalmente de espécies que também servem como alimento, descartá-los em definitivo da matriz energética implicaria em uma transição para outras tecnologias baseada no uso de combustíveis fósseis ou em um processo de ruptura, sem tecnologias intermediárias. O atual espaço ocupado pelos biocombustíveis na matriz energética brasileira, americana, alemã e em outros países, não permite acreditar que, ao menos no curto prazo, entrarão em desuso.

A relevância dos biocombustíveis no atual cenário energético nacional torna necessária sua abordagem no presente trabalho. Apesar de variados os tipos de biocombustíveis, somente dois deles farão parte do estudo, o etanol e o biodiesel. Esses dois representam a totalidade dos biocombustíveis produzidos e distribuídos comercialmente para uso no setor de transporte terrestre. As demais tecnologias, em função da escassez de matéria-prima, das restrições à produção, dos perigos associados ao uso, do baixo rendimento, das restrições tecnológicas ou de quaisquer outros fatores, não serão analisadas devido à inexistência de estudos ou pesquisas com perspectivas favoráveis ao uso em grande escala.

1.2.2.1. Etanol

Apesar da notoriedade do etanol ser recente, sua aplicação como combustível é muito antiga. O uso do etanol em motores data do século XVII (MADSON; MONCEAUX, 2003, p.1). No Brasil as experiências com o etanol foram iniciadas na década de 1920 pelo Instituto Nacional de Tecnologia, com o início de um programa para sua experimentação como combustível na forma pura (CORREIA, 2007, p.2). Na década, por pressão da indústria sucroalcooleira, motivada pela constante oscilação do preço do açúcar no mercado internacional, instituiu-se a obrigatoriedade da mistura de 5% de álcool na gasolina. Desde então, mesmo passando por períodos altos e baixos, o etanol não parou mais de ser produzido no País, ganhando cada vez mais notoriedade e espaço no mercado de combustíveis, seja como aditivado ou como combustível principal.

O etanol, também conhecido por álcool etílico, álcool de biomassa, álcool combustível ou carburante, pode ser extraído de qualquer tipo de biomassa que contenha açúcar, amido ou qualquer insumo com teor de celulose (SCANDIFFIO, 2005, p.25), além de fontes fósseis como nafta, gás natural ou carvão. Da biomassa o etanol pode ser produzido a partir da cana-de-açúcar, principal matéria-prima utilizada no Brasil, do milho, essa a principal utilizada pelos Estados Unidos, da beterraba, trigo, arroz, mandioca e outras fontes de açúcar ou amido.

O processo de produção do etanol ou álcool combustível, a partir da cana-de-açúcar, basicamente compreende as etapas de preparo, moagem, tratamento do caldo, fermentação e destilação. No Brasil, segundo Piacente (2006, p.165), a “fabricação é por via fermentativa baseado no aproveitamento do mel final ou melaço das usinas, na utilização direta da cana de açúcar, ou ainda na produção pela inversão do açúcar”. O processo de fabricação do etanol por via fermentativa a partir da cana de açúcar é realizado conforme a figura 6:

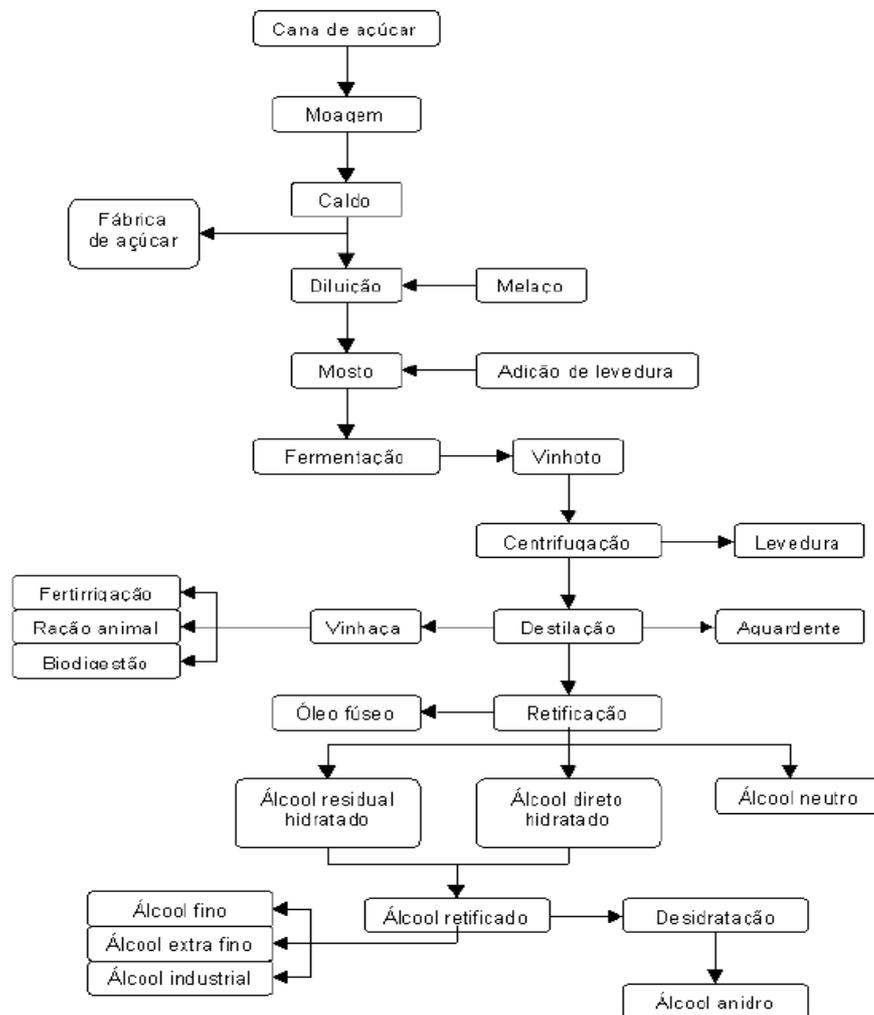


Figura 6 – Fluxo simplificado do processo de produção do etanol via rota fermentativa a partir da cana de açúcar. Fonte: PIACENTE, 2006, p.166.

Além do processo tradicional de fabricação do etanol a partir da cana ou de outras culturas, este pode ser produzido a partir de diversas matérias-primas por meio de um processo chamado de hidrólise. Segundo Duarte (1989, p.5), a hidrólise consiste na “conversão das hemiceluloses em monossacarídeos (principalmente xilose e manose)”, ou seja, a transformação de polímeros naturais contidos na biomassa em açúcares, capazes de entrarem no processo fermentativo convencional e resultarem na produção do etanol.

A hidrólise basicamente ocorre de duas formas: a hidrólise enzimática e a hidrólise ácida. Apesar da capacidade de aproveitamento de até 100% no processo de hidrólise enzimática, sua lentidão torna a produção de etanol inviável economicamente, além da dificuldade imposta pela lignina, que representa um obstáculo no acesso a celulose, barreira esta superada no caso da hidrólise ácida, que é mais rápida e eficiente e pode ser realizada com o uso de ácidos diluídos ou concentrados (DUARTE, 1989, p.6).

As dificuldades apresentadas no processo da hidrólise estimularam a Dedini Indústria de Base a pesquisar, desde a década de 1980, uma alternativa viável para a obtenção do álcool a partir de outras matérias-primas, como o próprio bagaço da cana, por meio de um processo denominado de hidrólise rápida (figura 7). Esse processo chamado de Dedini Hidrólise Rápida – DHR, consiste na diluição da lignina, estrutura da fibra do bagaço da cana que protege a celulose, para permitir a quebra das cadeias de carbono e gerar hexoses, resultando ao final em açúcar e água, integrados posteriormente ao sistema convencional de produção de etanol (PEROZZI, 2007, p.47).

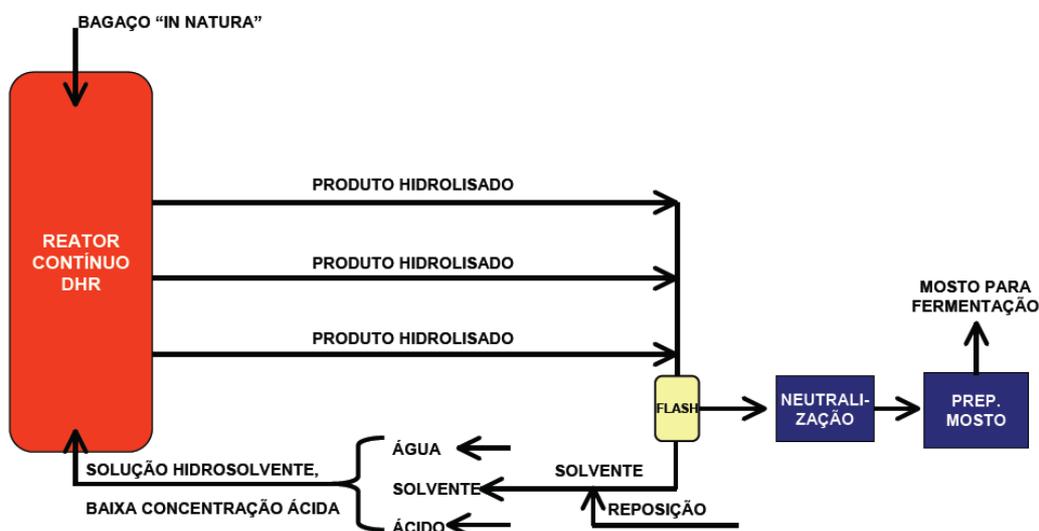


Figura 7 – Fluxo simplificado do processo de produção do etanol pelo método DHR. Fonte: OLIVÉRIO, 2007, p.21.

No caso da cana-de-açúcar, com o uso do bagaço para a produção de etanol seria possível praticamente dobrar o volume obtido por hectare cultivado. Nesse processo utiliza-se a cana, o bagaço e a palha, esta última substituindo a atual função do bagaço que serve como combustível para a produção do calor necessário a realização das etapas de produção do etanol.

Independente da tecnologia aplicada para a obtenção do açúcar, a produção do etanol resulta na obtenção do álcool anidro e do álcool hidratado. O álcool hidratado, ou álcool etílico hidratado carburante, contém teor alcoólico entre 92,6% e 93,8% a 20°C, sendo o restante do percentual composto por água. Já o álcool anidro, ou também chamado de álcool etílico anidro carburante, apresenta composição quase pura, com teor alcoólico entre 99,3% e 99,8% a 20°C (SCANDIFFIO, 2005, p.26).

O álcool anidro faz parte da mistura contida na gasolina comercializada no Brasil, como forma de aditivo. Já o álcool hidratado é utilizado diretamente como combustível nos veículos a álcool ou com tecnologia *flexfuel*. A mistura do álcool anidro à gasolina não tem

percentual fixo estabelecido, variando de acordo com fatores como estoque, preços dos combustíveis e outros. O percentual da mistura até 1992 era de 14%, mudando para 22% no período de 1992 a 1998, aumentando para 24% de 1998 a 1999, reduzindo para 20% em 2000 e no presente encontra-se em 25% (MARJOTTA-MAISTRO, 2002, p.3).

Atualmente o álcool é considerado um combustível consolidado no Brasil e nos Estados Unidos, começando a ganhar espaço na União Européia e em outros países do mundo, como apresentado tabela 8 contento a relação dos dez maiores produtores mundiais. No caso brasileiro, o álcool ganhou força com a implantação do Programa Nacional do Álcool na década de 1970, programa que será abordado de forma mais detalhada no próximo capítulo. Nos Estados Unidos o uso do combustível começou na década de 1980, influenciado pelo Proálcool, com a implantação do programa *US and GAsohol* (FIGUEIRA; BURNQUIST, 2006, p.7).

Pais	2004	2005	2006*
Brasil	15,1	16	17
EUA	13,4	16,2	18,4
China	3,65	3,8	3,85
Índia	1,75	1,7	1,9
França	0,83	0,91	0,95
Rússia	0,75	0,75	0,75
Alemanha	0,27	0,43	0,77
África do Sul	0,42	0,39	0,39
Espanha	0,3	0,35	0,46
Reino Unido	0,4	0,35	0,28
TOTAL	36,87	40,88	44,75

Tabela 8 – Volume fabricado pelos dez maiores produtores de etanol do mundo (milhões de m³).

Fonte: WEC, 2007, p.337.

* Os valores do ano de 2006 representam uma estimativa. No caso do Brasil a estimativa chegou bem próxima da produção real, que foi de 17,7 milhões de m³.

Alguns anos após a inserção do álcool na matriz energética brasileira, por volta do início da década de 1980, a produção passou a apresentar índices constantes de crescimento, como observado no gráfico 27. Durante muitos anos o Brasil manteve-se na posição de maior fabricante de etanol do mundo, sendo superado em 2007 pelos Estados Unidos, que teve uma produção de 24.600 milhões de m³ contra 19 milhões de m³ do Brasil (RFA, 2008). Ambos são responsáveis por mais de 70% de todo o etanol fabricado no mundo, podendo ganhar mais espaço com os constantes estímulos ao uso do combustível nesses países.



Gráfico 27 – Produção de etanol (álcool etílico) em mil m³ (1970 – 2006).
Fonte: MME, 2007a.

Além dos benefícios decorrentes do fato de ser uma fonte renovável, o etanol é um combustível que polui menos que a gasolina e o diesel. Uma pesquisa realizada pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental de São Paulo demonstrou os índices médios de emissões de poluentes atmosféricos e CO₂ por veículos leves com tecnologia *flex* – movidos a álcool e gasolina – entre os anos de 2003 a 2007. O estudo apresenta a média das emissões de veículos de diversas marcas com motores de 1000 a 2000 cilindradas, conforme o gráfico 28.

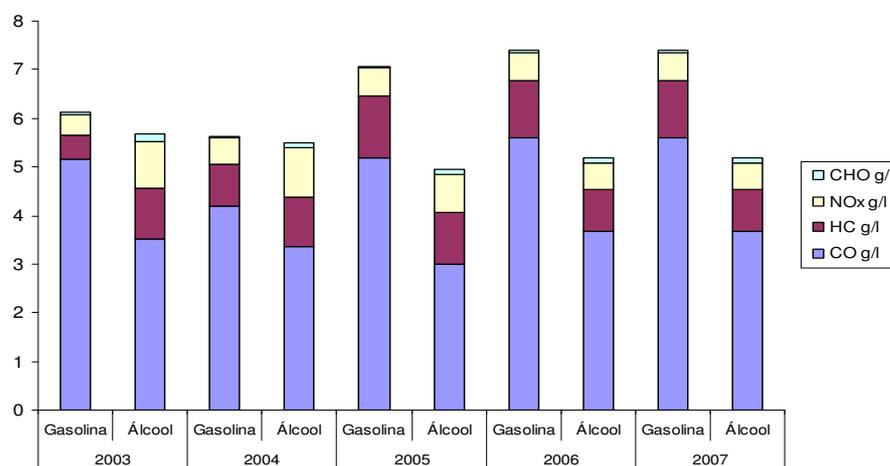


Gráfico 28 – Média das emissões de veículos *flex* utilizando álcool e gasolina (grama/litro).
Fonte: CETESB, 2008, p.195.

Quanto à emissão de CO₂, entre os anos de 2003 e 2007, a média dos veículos utilizando álcool foi de aproximadamente 1381 g/l, enquanto dos veículos a gasolina foi de 2163 g/l (CETESB, 2008, p.195). Em comparação com o diesel, o etanol é ainda mais

benéfico ao meio ambiente, pois a emissão de CO₂ por veículos a diesel chega a 2620 g/l (RIBEIRO *et al.* 2003, p.87), quase que o dobro da emissão por litro de álcool consumido.

1.2.2.2. Biodiesel

A intenção de utilizar óleos vegetais *in natura* como combustível surgiu juntamente com o desenvolvimento do motor a diesel. Segundo Ribeiro (2002, p.33 apud Altin *et al.* 2001) “o uso de óleos vegetais *in natura* é tão antigo quanto a concepção do motor de ignição por compressão”. Por volta de 1900 este tipo de motor foi testado por Rudolf Diesel, utilizando óleo de amendoim como combustível, sendo apresentado nesse mesmo ano na Exposição Universal de Motores em Paris (OLIVEIRA, 2001, p.81).

A utilização de óleo vegetal *in natura* sempre representou uma alternativa energética para os motores com ciclo diesel, porém, esse tipo de aplicação, até os dias de hoje, depende de adaptações tecnológicas em razão dos danos que pode causar ao motor, a baixa eficiência energética e as emissões indesejadas (RIBEIRO, 2002, p.33). O uso de óleos vegetais em motores tradicionais a diesel, sem que sejam realizadas alterações, pode gerar problemas como “carbonização e depósitos nos bicos injetores e sedes de válvulas, além do desgaste prematuro dos pistões, dos anéis de segmento e dos cilindros [...] dificuldade de partida a frio, queima irregular, eficiência térmica reduzida, odor desagradável dos gases de descarga e emissão de acroleína¹⁷” (MARQUES; JOSEPH JÚNIOR, 2006, p.128).

Vários problemas decorrentes do uso de óleo vegetal *in natura* acontecem em função de sua maior viscosidade (MACHADO, 2003, p.61), considerada elevada quando comparada com a do diesel convencional. Para que o óleo vegetal cru seja utilizado em misturas com o diesel, sem prejuízos ao motor, é necessário que sua viscosidade seja menor. Uma das maneiras de reduzir a viscosidade do óleo é com o pré-aquecimento (MACHADO, 2003, p.67). Antes do combustível ser injetado na câmara de combustão ele é aquecido a temperaturas que variam de acordo com o tipo de óleo utilizado, contribuindo para a redução dos possíveis danos causados aos motores.

Uma maneira de utilizar óleos vegetais sem a necessidade da alteração dos motores é por meio da mudança das características dos próprios óleos. Existem rotas tecnológicas que permitem a alteração dos óleos vegetais os transformando em biodiesel. Segundo Machado *et al.* (2006, p.1), o biodiesel é “constituído de uma mistura de ésteres monoalquílicos de

¹⁷ Acroleína é uma substância extremamente tóxica. Causa severas irritações oculares e respiratórias. A exposição a altas concentrações pode causar edema pulmonar ou até mesmo morte. Fonte: Revista Química Nova. Compostos carbonílicos atmosféricos: fontes, reatividade, níveis de concentração e efeitos toxicológicos.

ácidos graxos, obtida da reação de transesterificação entre qualquer fonte de ácidos graxos [...] e monoálcool de cadeia curta (metanol ou etanol)”. De forma geral, segundo Machado *et al.* (2006, p.1 apud ABREU *et al.* 2004) biodiesel pode ser definido como um “biocombustível derivado monoalquíil éster de ácidos graxos de cadeia longa, provenientes de fontes renováveis”.

Segundo Cruz (2006, p.98), alguns autores adotam o termo biodiesel de forma mais genérica, sendo considerado como tal qualquer combustível capaz de substituir o diesel em uma matriz energética. Tendo como base esse conceito mais amplo, de acordo com Costa (2005, p.92) o biodiesel pode ser produzido de três formas: formação de microemulsões, pirólise e transesterificação, sendo esta última a mais conhecida e utilizada na produção em larga escala. A transesterificação pode ser definida como um “processo de utilização de um álcool (por exemplo, o etanol ou o metanol) na presença de um catalisador, como o hidróxido de sódio ou o hidróxido de potássio, para romper quimicamente a molécula de um óleo vegetal puro e produzir moléculas de éster etílico ou metílico (COSTA, 2005, p.92).

O processo de pirólise ou craqueamento catalítico consiste na “conversão de uma substância em outra por meio do uso de calor, isto é, pelo aquecimento da substância na ausência de ar ou oxigênio a temperaturas que podem chegar a 450°C” (LIMA, 2005, p.16). Esse processo pode ser utilizado para a obtenção do biodiesel e na transformação de diversos outros produtos. No caso dos óleos vegetais “é possível obter uma mistura de compostos da classe dos hidrocarbonetos, similares aos encontrados no petróleo e, também, compostos oxigenados” (SUAREZ; MENEGHETTI, 2007, p.2069). Quanto ao processo de microemulsão ou diluição, este consiste na injeção simultânea de dois ou mais combustíveis imiscíveis na câmara de combustão de motores do ciclo diesel (CRUZ, 2006, p.98). Essa mistura pode ser feita com o uso do etanol ou metanol.

O biodiesel pode ser fabricado a partir de óleos vegetais, gordura animal, óleos usados em processos industriais (KHALIL, 2006, p.86), resíduos de frituras, esgotos e águas residuais de indústrias alimentícias (COSTA, 2005, p.93). No tocante à produção de biodiesel a partir de óleos vegetais, diversas são as oleaginosas que podem ser utilizadas, como: dendê, babaçu, milho, girassol, soja, canola, colza, amendoim, mamona (CRUZ, 2006, p.98), algodão, pinhão manso (TORRES *et al.*, 2006, p.93) e outras.

Quando produzido a partir de gordura animal, o biodiesel pode ter como matéria-prima o sebo bovino, óleos de peixe, banha de porco (MELLO; PAULILLO; VIAN, 2007, p.32), rejeito de gordura de frango (MOTHÉ *et al.*, 2005, p.744) e outras fontes de gordura animal. Quanto ao biodiesel residual de fritura, ele é produzido a partir de óleos vegetais já utilizados no preparo de alimentos, como é o caso do óleo doado por uma rede de lanchonetes para a realização de experimentos (OLIVEIRA, 2001, p.100).

A produção de biodiesel a partir de resíduos industriais como óleos e derivados provém de ácidos graxos – borra (KHALIL, 2006, p.86). A borra é o produto final de determinados processos industriais, originada na utilização de óleos vegetais. Por fim, o biodiesel produzido a partir do esgoto doméstico, obtido a partir da espuma do esgoto. A produção do óleo a partir desse tipo de matéria-prima representa uma inovação mundial desenvolvida pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (OLIVEIRA, 2004, p.51).

De forma resumida, o processo de produção de biodiesel pelo modo de transesterificação, a partir de óleos vegetais ou gorduras de animais, ocorre conforme a figura 7.

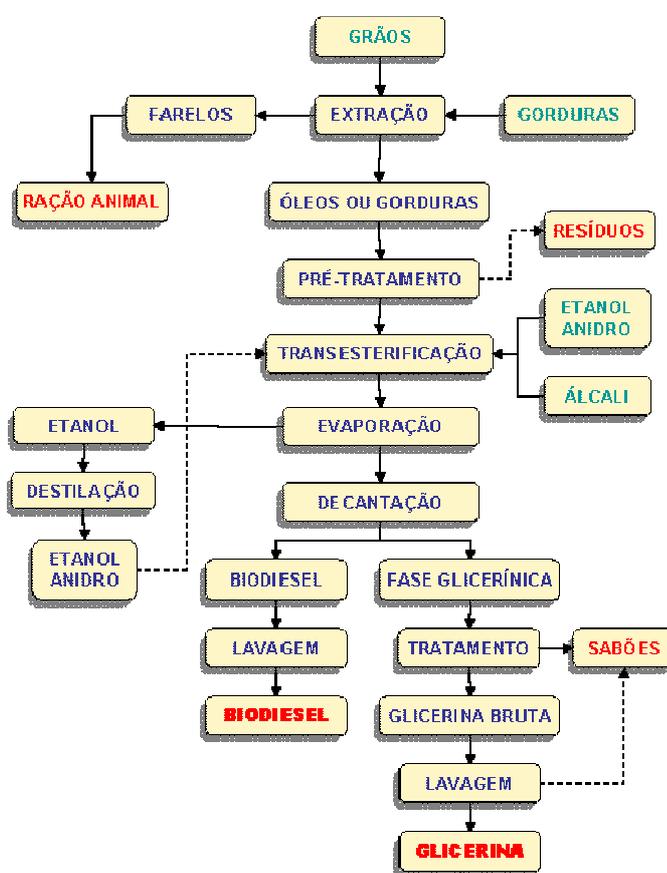


Figura 8 – Fluxo simplificado de produção de ésteres etílico a partir de óleos vegetais e gordura animal utilizando etanol.
 Fonte: RAMOS *et al.* 2003, p.32.

No Brasil as pesquisas com o biodiesel foram iniciadas na década de 1970 na Universidade Federal do Ceará. Depois de exaustivos testes, no dia 30 de outubro de 1980, ocorreu o anúncio da descoberta do biodiesel, denominado na época como Prodiésel (PARENTE, 2003, p.10). A patente do biodiesel foi concebida ao professor Expedito Parente

no ano de 1980, sob o código PI – 8007957, sendo considerada a primeira em nível mundial (PARENTE, 2003, p.12).

Na época o biodiesel aparentava ser o sucedâneo do diesel, porém, o baixo preço do diesel convencional provocou o desinteresse e conseqüente falta de incentivos para a produção e comercialização do combustível, resultando no abandono da idéia de consolidá-lo como substituto do petrodiesel. Desde a década de 1980 o biodiesel ficou esquecido, até que em outubro de 2002 o Ministério da Ciência e Tecnologia publicou a portaria de nº. 702, instituindo o Programa Brasileiro de Desenvolvimento Tecnológico de Biodiesel – PROBIODIESEL, com o intuito de promover o desenvolvimento científico e tecnológico do biodiesel (MCT, 2002a).

Em julho de 2003 o Governo Federal instituiu, por meio de decreto, o Grupo de Trabalho Interministerial, com a missão de realizar e apresentar estudos sobre a viabilidade da utilização do biodiesel como fonte energética alternativa (BRASIL, 2003a). No final desse mesmo ano o governo criou, novamente por meio de decreto, a Comissão Executiva Interministerial, encarregada de implantar as ações necessárias ao uso do combustível com fonte alternativa de energia (BRASIL, 2003b).

Apesar das ações do governo para o uso de biodiesel desde o ano de 2002, somente em 2005 houve a publicação da Lei nº. 11.097, que o incluía na matriz energética brasileira. A lei dispunha dentre outras coisas, sobre os percentuais obrigatórios para a mistura do biodiesel ao diesel convencional.



Figura 9 – Percentuais de mistura do biodiesel ao diesel convencional.
Fonte: DORNELLES, 2006, p.5.

A retomada do biodiesel está associada, dentre vários motivos, aos benefícios sócio-econômicos decorrentes de sua inserção na matriz energética. Segundo (HOLANDA, 2004, p.23), estudos realizados pelo Ministério do Desenvolvimento Agrário, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Ministério da Integração Nacional e Ministério das Cidades demonstram que a substituição de 1% de óleo diesel convencional por biodiesel, produzido a partir de agricultura familiar, teria a capacidade de gerar aproximadamente 45 mil empregos no campo e 135 mil na cidade.

A produção nacional de biodiesel vem aumentando de forma significativa desde sua inserção obrigatória na matriz de energética. De janeiro a abril deste ano a produção de biodiesel já era equivalente a 68,5% da produção total do ano de 2007 (ver gráfico 29). Mantido os níveis de produção do primeiro quadrimestre, o volume total poderá chegar bem próximo de 1 bilhão de litros ainda neste ano.

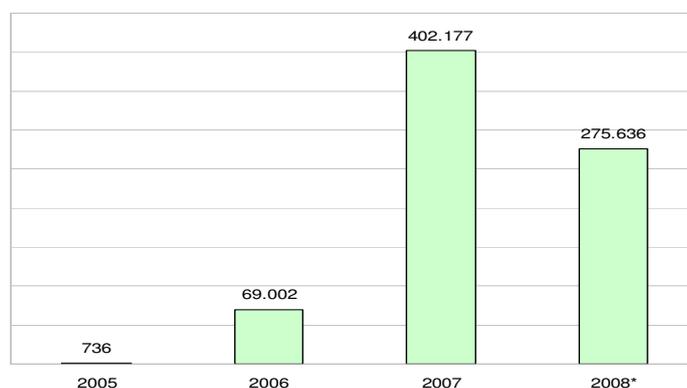


Gráfico 29 – Produção nacional de biodiesel em m³ (2005 – 2008).

Fonte: ANP, 2008b.

* Produção de janeiro a abril de 2008.

Além dos benefícios sócio-econômicos, segundo alguns autores, o biodiesel é capaz de reduzir a emissão de poluentes atmosféricos e gases de efeito estufa. Os resultados apurados em decorrência do uso do biodiesel são extremamente variados inclusive, em alguns casos, contrários. Certamente que a alteração dos insumos, condições, materiais e equipamentos utilizados nos testes podem levar a resultados diferentes. Diante da variedade de testes, Corrêa resumiu alguns dos resultados de pesquisas, conforme tabela 9, apresentados a seguir, que, de forma geral, indicam números favoráveis ao uso do biodiesel.

Propriedade	Altin (2001)	Carraretto (2004)	Kalligeros (2003)	Raheman (2004)	Baldassarri (2004)	Monyem (2001)	Al-Widyani (2002)	
% biodiesel	100	variada	50	20 a 80	20	20	25 a 100	
Torque	- 3 a 10	- 5		+ 13 a -23				
Potência	- 3 a 18	- 3		+ 6			+ 7 a 55	
Consumo	+ 18	+ 9 a 18	+ 1 a 4	+ 48 a - 7,4	+ 3			
EMISSÕES	CO	+ 50	- 3	-17 a 41	- 73 a 94	- 9,5	- 12	+ 40
	CO ₂	- 5 a 10						
	HC		- 13,5	- 49 a 52	- 16		- 35	- 33 a 67
	NOx	+ 20 a 25	+ 9	- 14 a 22	- 26	0	+ 13 a 14	-2 a 80
	MP	+ 30		- 18 a 72	- 20 a 80	+ 4		+ 18 a 34

Tabela 9 – Emissões resultantes de diversos experimentos com biodiesel.

Fonte CORRÊA, 2005, p.930.

1.3. Matriz de transporte terrestre de cargas e passageiros no Brasil

1.3.1. Processo histórico

O surgimento de uma economia mercantil impulsionou a evolução dos meios de transporte. A necessidade de transportar mercadorias do local de onde eram produzidas para onde seriam consumidas expandiu-se à medida que novos mercados consumidores eram estabelecidos. O transporte marítimo e fluvial foram as primeiras opções no processo de crescimento do comércio de longa distância. O surgimento do barco a vapor e as melhorias nas embarcações viabilizaram essa modalidade de fluxo de mercadorias, que se manteve como a principal durante anos.

A partir da fabricação da primeira locomotiva a vapor pelo escocês Richard Trevithick em 1804 (CNT, 2008a), o transporte de mercadorias e pessoas passaria a ser realizado por um novo modal. A partir de 1820 começaram a surgir as primeiras ferrovias na Inglaterra, que rapidamente se espalharam. Segundo Silva Júnior (2002, p.63), o sistema ferroviário foi o primeiro sistema de transporte capaz de viabilizar a aceleração da circulação de mercadorias na primeira revolução industrial. A expansão do sistema ferroviário seguiu por todo o mundo, principalmente nos Estados Unidos, impulsionada pelo crescimento econômico, populacional e pelo setor de telecomunicações, devido à rede de telégrafos, que se apresentava como peça de apoio ao desenvolvimento do transporte ferroviário (DINIZ, 1987, p.200).

No Brasil a situação foi diferente. As atividades mercantis eram restritas em função da proibição de atividades manufatureiras imposta pela coroa portuguesa e pelas relações escravistas. Devido ao baixo volume comercial, os transportes não foram considerados como atividade relevante por séculos. Somente com a expansão da produção cafeeira no século XIX é que a situação começou a mudar. A capacidade de transportar com eficiência e inserir o País no comércio internacional garantiu ao sistema ferroviário a condição necessária para se estabelecer. Em 1854 foi inaugurada a primeira ferrovia brasileira, com extensão de 14,4 km, chamada de Estrada de Ferro Mauá. Pouco depois em 1858 foi vez da Pedro II – Central do Brasil –, seguida pela Estrada de Ferro Santos – Jundiaí em 1863 e diversos outros trechos, tendo o Brasil alcançado no ano de 1867 uma malha ferroviária com extensão de 598 km (DINIZ, 1987, p.211).

A partir desse período a expansão da malha ferroviária não parou por décadas. Segundo Castro (2002, p.109), de 1880 a 1930 houve um grande ciclo de expansão da rede ferroviária brasileira, passando de menos de mil quilômetros em 1870 para mais de 32 mil quilômetros em 1930. Os fazendeiros paulistas foram os principais responsáveis pela

organização e a realização de investimentos necessários à expansão das malhas ferroviárias. Das vinte ferrovias existentes em 1910, dezesseis eram de propriedade dos fazendeiros, duas de propriedade do governo federal, uma do governo estadual e uma de capital estrangeiro. Essas ferrovias desempenharam um papel de grande importância na industrialização paulista e no crescimento da cafeicultura no período de 1880 a 1930 (GORDINHO, 2003, p.71).

Apesar da expansão das ferrovias, o setor rodoviário não foi deixado de lado. Segundo Silva Júnior (2002, p.64), o marco da ascensão do transporte rodoviário foi o 1º Congresso Paulista de Estradas e Rodagem realizado na cidade de São Paulo em 1917, presidido pelo então prefeito Washington Luiz. Com a instalação da fábrica da Ford em São Paulo no ano de 1919, poucos anos depois, em 1924, o uso do caminhão para realizar o transporte entre fazendas ou até as estações generalizou-se (SILVA JÚNIOR, p.65).

A partir da pavimentação da primeira rodovia brasileira – antiga Estrada Normal da Estrela da Serra, a Rio-Petrópolis, atual Washington Luiz (GORDINHO, 2003, p.117) –, o processo de construção e pavimentação não parou. No ano de 1926, Washington Luiz tornou-se presidente da república e deu continuidade as idéias discutidas no 1º Congresso Paulista de Estradas e Rodagem, tendo dito em seu discurso de posse que “governar é abrir estradas”. Nesse mesmo ano conseguiu do Congresso Nacional a criação do Fundo Especial para Construção e Conservação de Estradas e Rodagem Federais, que arrecadaria recursos sobre a comercialização de combustíveis e peças (SILVA JÚNIOR, 2002, p.66).

Com a perda do poder pelas oligarquias, em razão da desaceleração da cafeicultura, as ferrovias perderam seus grandes apoiadores. O rápido processo de industrialização e a integração do mercado interno demandavam cada vez mais o transporte de bens. A ampliação da malha rodoviária se justificava pela necessidade de transportar cada vez mais cargas (BARAT, 1978, p.91). Mesmo com a promulgação do Plano Nacional de Viação – PNV pelo decreto nº. 24.497 de junho de 1934 (CASTRO, 2002, p.109), os investimentos no setor ferroviário não foram no volume necessário. Além da escassez de recursos existia uma tendência mundial em migrar parte do transporte ferroviário e hidroviário para o transporte rodoviário. No caso do Brasil essa situação foi um pouco diferente, pois o transporte ferroviário, ao invés de especializar-se para o transporte de determinados tipos de cargas, concorria diretamente com o modal rodoviário (SILVA JÚNIOR, 2002, p.70).

O transporte rodoviário estava se tornando uma preferência, com ações políticas e econômicas voltadas a ele. No final da década de 1930 deu-se o início da fase áurea da expansão do transporte rodoviário, com a criação do Departamento Nacional de Estradas e

Rodagem – a DNER em 1937 (CASTRO, 2002, p.115). Poucos anos depois, em 1945, criou-se o polêmico Fundo Rodoviário Nacional (conhecido também como lei Joppert)¹⁸, com tributação sobre os lubrificantes, combustíveis líquidos e gasosos (SILVA JÚNIOR, 2002, p.72), que segundo Gordinho (2003, p.120), “estabeleceu um sistema para garantir o financiamento a fundo perdido do setor rodoviário. Instalava-se o arcabouço financeiro para construção, pavimentação e conservação de rodovias”.

No outro lado da história, sobre o setor ferroviário recaíam diversos problemas. A Segunda Guerra Mundial o afetou devido à cessão da importação de peças e acessórios para reposição, causando a decomposição do sistema. Mesmo havendo certo receio na primeira metade da década de 1940 em integrar as regiões utilizando um sistema rodoviário, primeiro por ser considerado somente como um complemento ao transporte ferroviário e segundo pela idéia da integração ser considerada como algo distante de ser alcançado (GALVÃO, 1996, p.195), o processo de expansão das rodovias prosseguiu sem parar.

A redução do fluxo ferroviário em função do processo de industrialização associado à falta de investimentos gerou um enorme déficit no setor. Nem mesmo sendo apoiadas por diversos grupos e com a estatização foi possível salvar as ferrovias. A crise na Inglaterra, em função da Segunda Guerra Mundial, alcançou o setor ferroviário brasileiro com a falta de investimentos (SILVA JÚNIOR, 2002, p.70). A criação posterior da Rede de Ferroviária Federal S.A – RFFSA em 1957, por meio da Lei 3.115, que detinha inicialmente 18 estradas de ferro e operava 80% das linhas férreas brasileiras, com 24.132 km de extensão (GORDINHO, 2003, p.79), como forma de tentar manter o já colapsado sistema ferroviário, não conseguiu resolver o problema nem reduzir seu déficit, que chegou a R\$ 2,4 bilhões em 1963 – valores corrigidos para o ano 2000 – (CASTRO, 2002, p.112).

O apoio institucional necessário para a expansão das rodovias veio com a divulgação dos resultados dos estudos realizados pela Comissão Mista Brasil - Estados Unidos de Desenvolvimento Econômico em 1952, que orientavam a expansão do transporte rodoviário, sendo considerada a opção mais econômica e com melhor retorno sobre investimento (GORDINHO, 2003, p.122). Além da questão institucional, somava-se a questão técnica, com a criação da Petrobrás em 1953, com capacidade de produzir o asfalto necessário à construção das rodovias. Além disso, a expansão tinha uma fonte de financiamento garantida, realizada pelo Fundo Rodoviário Nacional.

A construção, reforma e ampliação das rodovias estavam garantidas, faltava ao Brasil somente os veículos. Oficialmente foi inaugurada em 1942 a Fábrica Nacional de Motores (FNM), ainda sem seus equipamentos, mas com grande festa. Sua operação seria iniciada no ano seguinte, com o propósito de produzir motores para aeronaves, porém, com o fim da

¹⁸ Destaque do autor.

Segunda Guerra Mundial, os estoques da Força Aérea Brasileira – FAB ficaram lotados. A opção seria produzir outros bens. Em 1949 a FNM começou a produzir seus primeiros caminhões (PAIVA, 2004, p.196). No mesmo período da criação da FNM, o governo estimulava a importação de veículos, dessa forma, entre 1946 e 1950 a frota de veículos praticamente dobrou (DINIZ, 1987, p.233).

No dia 16 de junho de 1956 o presidente Juscelino Kubitschek assinou o Decreto 39.412, criando o Grupo Executivo da Indústria Automobilística – GEIA, sendo considerado este o marco do nascimento da indústria automobilística brasileira (ANFAVEA, 2006, p.94). O GEIA era composto por representantes de vários órgãos do Governo Federal e tinha como prioridade o desenvolvimento da indústria de veículos pesados, em especial os caminhões, já responsáveis na época pela maior parte do transporte de cargas. O objetivo do grupo era promover a nacionalização da fabricação de veículos por meio da instituição de um plano voltado ao setor, que garantiria a redução da importação de peças (SANTOS; BURITY, 2003, p.1) e produção de veículos com mais de 90% de partes nacionais.

Esse era o início da implantação do setor automobilístico nacional, feito de forma ímpar. Segundo Latini (2007, p.107) “o plano foi revolucionário nos métodos administrativos e, sobretudo, nos resultados. Sacudiu a economia brasileira, estendeu seus efeitos a outros setores de atividade e continuou a imprimir dinamismo até por mais de quatro décadas”. Depois de mais de dez anos, em 1967, após promover grandes benefícios ao setor o grupo foi substituído pelo Grupo Executivo da Indústria Mecânica – Geimec, que foi absorvido pelo Grupo Executivo da Indústria Automotora – Geimot, dois anos mais tarde (SANTOS; BURITY, 2003, p.3).

Nesse momento instalavam-se no País fábricas como a General Motors, Ford, Mercedes-Benz, Scania-Vabis, Vemag, Simca, Toyota, Volkswagen e Willys para atender ao carente mercado brasileiro (GORDINHO, 2003, p.123). Com a indústria automobilística crescendo e sendo nacionalizada, por fim, pode-se dizer que a construção de Brasília foi um dos fatores propulsores da expansão das rodovias federais, aumentadas em 15.000 Km entre 1956 e 1961. Dentre as rodovias estão a Belém-Brasília, com 2.000 Km, a Belo Horizonte Brasília, com 700 Km, a Goiânia-Brasília, com 200 Km, a Fortaleza Brasília, com 1.500 Km e a Acre-Brasília, com 2.500 Km (SILVA JÚNIOR, 2002, p.74). A desconcentração política da região sudeste, em função da centralização da nova capital, exigia a abertura de novas vias, com a integração entre as diversas regiões do país.

Diante de tantos acontecimentos, a retração dos vários modais de transporte, principalmente o ferroviário, com conseqüente aumento do rodoviário, não pode ser atribuída a um fator, mas a um conjunto de fatores que ocorreram de forma interliga, resultando na transformação radical da matriz de transportes brasileira. Dentre os fatores que influenciaram essa mudança e expansão do transporte rodoviário, destacam-se:

- flexibilidade do transporte, que podia ser realizado porta a porta, sem a necessidade de grandes investimentos;
- implantação mais rápida da infra-estrutura para o uso de automóveis;
- menor utilização de mão-de-obra e conseqüentemente redução nos custos do transporte;
- inexistência das fortes pressões sindicais como as que ocorria nos setores marítimo e ferroviário;
- sucateamento da estrutura de cabotagem e ferroviária;
- maior velocidade, rapidez e regularidade nos deslocamentos;
- surgimento da indústria automobilística brasileira, com capacidade crescente de produção;
- criação da Petrobrás, oferecendo matéria-prima para a construção das estradas e combustíveis para os automóveis;
- construção da cidade de Brasília, estimulando a construção de diversas rodovias federais;
- incompatibilidade das linhas de trem, dispondo de bitolas diferentes, resultando na restrição de tráfego;
- baixo preço do petróleo.

Desde o começo do processo de mudanças da matriz de transporte, iniciado na década de 1930, o modal rodoviário se estabeleceu como a principal forma utilizada para o deslocamento de cargas e pessoas. Depois de consolidado o sistema rodoviário, a estrutura da matriz de transportes não passou por mudanças significativas. O gráfico 30, apresentado a seguir, demonstra a redução da malha ferroviária e o forte crescimento das rodovias entre os anos de 1967 a 2000.

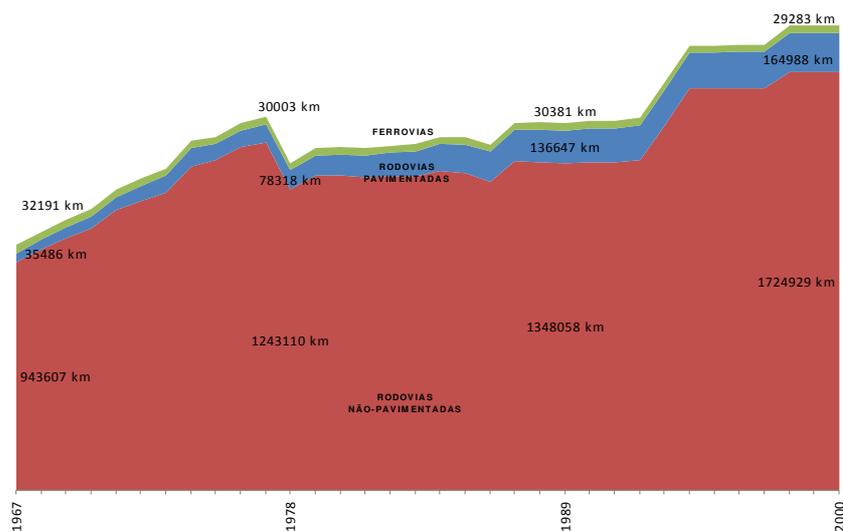


Gráfico 30 – Comportamento da malha ferroviária e rodoviária brasileira (1967 – 2000)¹⁹.
Fonte: GEIPOT, 1972 – 2001.

Nesse período a malha ferroviária apresentou retração, caindo de 32191 km para 29283 km. Em contrapartida, a malha rodoviária, somente a pavimentada, aumentou de 35486 km para 164988 km. A forma de transporte rodoviário cresceu quase que durante todos os anos, ocupando o espaço de todos os demais modais. Apesar dos esforços para a melhoria e expansão de outros sistemas, a forma rodoviária permanece predominante até o presente, sem perspectivas de mudanças em curto prazo.

1.3.2. Situação atual

O setor de transportes é responsável pelo consumo de mais de 1/4 de toda energia utilizada no Brasil, considerando as fontes não-renováveis e renováveis de energia. Representa o segundo setor, em termos absolutos, no consumo de energia. No ano de 2007 ficou atrás somente do setor industrial, que consumiu 38,8% de toda a energia utilizada no país (ver gráfico 31).

¹⁹ A redução de toda a malha em determinados anos se deve a alterações nos critérios de mensuração ou na mudança das fontes dos dados utilizados pelos responsáveis pela consolidação das informações. Alguns anuários apresentam dados divergentes para o mesmo período. O GEIPOT informa que as divergências vêm desde a fonte original dos dados.

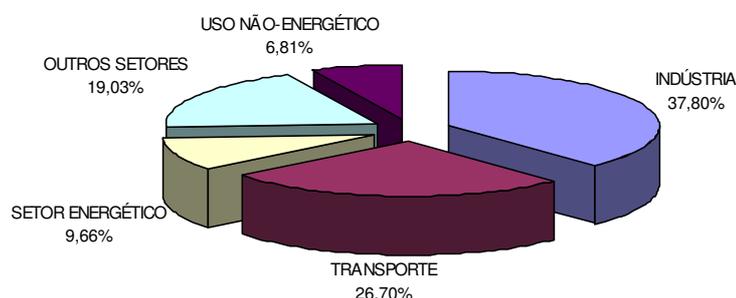


Gráfico 31 – Percentual do consumo de energia por setor no Brasil, ano 2007.
Fonte: MME, 2007b.

A formação da matriz nacional de transportes, com a predominância do modal rodoviário, explica o elevado consumo de energia. Um levantamento realizado a partir dos Anuários Estatísticos do Transporte, entre os anos de 1952 e 2000²⁰, demonstra a participação do setor rodoviário, tanto no transporte de cargas, como no transporte de passageiros. Como pode ser observado no gráfico 32, quase 60% do transporte de cargas no ano 2000 foi realizado por via rodoviária. Do início da década 2000 até o ano de 2007 a situação praticamente não mudou. Nesse último ano aproximadamente 55% do volume de cargas transportadas no Brasil foi realizado por meio do modal rodoviário. (CNT, 2008c).

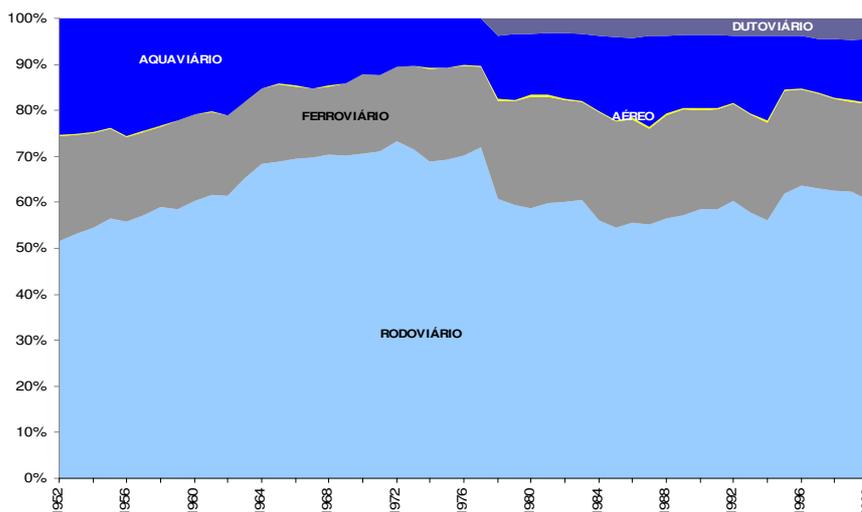


Gráfico 32 – Distribuição do transporte de cargas por modal no Brasil, 1952 – 2000 (t/km).
Fonte: GEIPOT, 1972 – 2001.

²⁰ Ano da última publicação do Anuário Estatístico do Transporte realizada pelo GEIPOT (Grupo Executivo de Integração da Política de Transporte).

Para o transporte de passageiros a situação não é diferente. Até o ano 2000 os anuários demonstram quase que a totalidade do transporte coletivo de passageiros sendo realizada pelo modal rodoviário, como apresentado no gráfico 33. O único modal que seguiu nessa mesma direção foi o aéreo. A partir do ano 2000 o setor aéreo começou a apresentar índices de crescimento significantes no deslocamento de passageiros. Sua participação de pouco mais de 2% saltou para 15% no ano de 2006. Uma rápida expansão, porém, ainda pouco representativo diante do modal rodoviário.

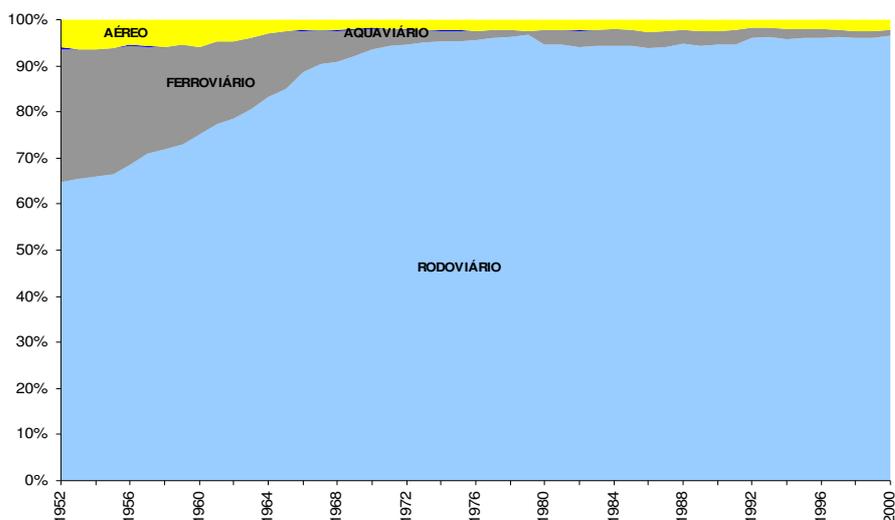


Gráfico 33 – Distribuição do transporte de passageiros por modal no Brasil, 1952 – 2000 (passageiros/quilômetro).
 Fonte: GEIPOT, 1972 – 2001.

Se considerado o transporte de passageiros de uma forma geral, incluindo o uso de metrô ou sistema ferroviário metropolitano, a participação do modal rodoviário reduz, contudo, ele ainda é predominante com relação os demais. Mais de 136 milhões de passageiros utilizaram o sistema rodoviário para deslocamentos interestaduais e internacionais no ano de 2007 (CNT, 2008c), o equivalente a aproximadamente 35% de todo o volume de pessoas transportadas, não incluindo na análise o transporte coletivo urbano. Considerando a movimentação de passageiros por ônibus urbano no ano de 2006, a participação do setor rodoviário aumenta de forma significativa, conforme demonstrado no gráfico 34. Nesse ano foram mais de 453 milhões de passageiros transportados por ônibus coletivos (NTU, 2007, p.58).

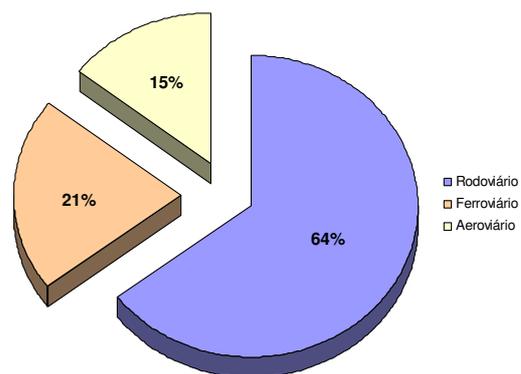


Gráfico 34 – Participação dos modais no transporte de passageiros no Brasil em 2006.
Fonte: NTU, 2007, p.58; CNT, 2008d.

Uma das conseqüências da ampla participação do transporte rodoviário é que sozinho ele consumiu quase que 92% de toda a energia utilizada pelo conjunto dos modais no ano de 2007, o que significa 24,5% de toda a energia utilizada no Brasil. O gráfico 35 permite visualizar a dimensão da representatividade do transporte rodoviário em relação aos demais quanto ao consumo de energia.

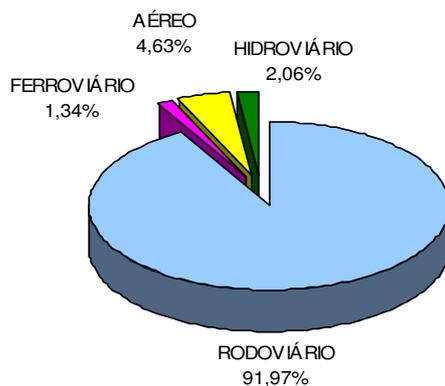


Gráfico 35 – Percentual de consumo de energia por modal de transporte no Brasil, ano 2007.
Fonte: MME, 2007b.

Quando se fala no consumo de energia, apesar das fontes renováveis terem participação significativa na matriz energética nacional, os derivados do petróleo ainda são os mais utilizados. Mais de 80 milhões TEP²¹ de energia foram consumidas sob a forma de derivados no ano de 2006, mais que o dobro de qualquer outra fonte de energia. O gráfico 36 demonstra como as fontes renováveis ocupam um percentual significativo no consumo energético nacional, ainda assim, muito distante dos índices de consumo dos derivados do petróleo.

²¹ Tonelada Equivalente de Petróleo - coeficiente de equivalência utilizado para a conversão de volumes em m³ para tep. Coeficientes: diesel: 0,848; gasolina automotiva 0,770; álcool etílico anidro 0,534; álcool etílico hidratado 0,510; gás natural úmido 0,993; gás natural seco 0,880.

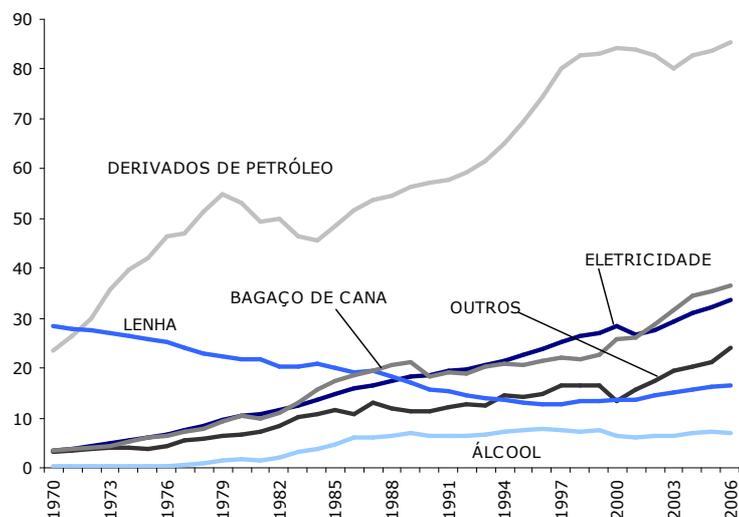


Gráfico 36 – Consumo final de energia por fonte no Brasil, 1970 – 2006 (10^6 tep).
Fonte: MME, 2007a.

Quando se trata do consumo de energia tomando como base todas as fontes, o setor de transporte é responsável pela utilização de aproximadamente 25% do total produzido. Se considerado somente o uso de derivados do petróleo pelo setor, sua participação aumenta de forma significativa. No ano de 2006, do consumo total de derivados do petróleo por todos os setores, 50,72% foi realizado pelo de transportes.

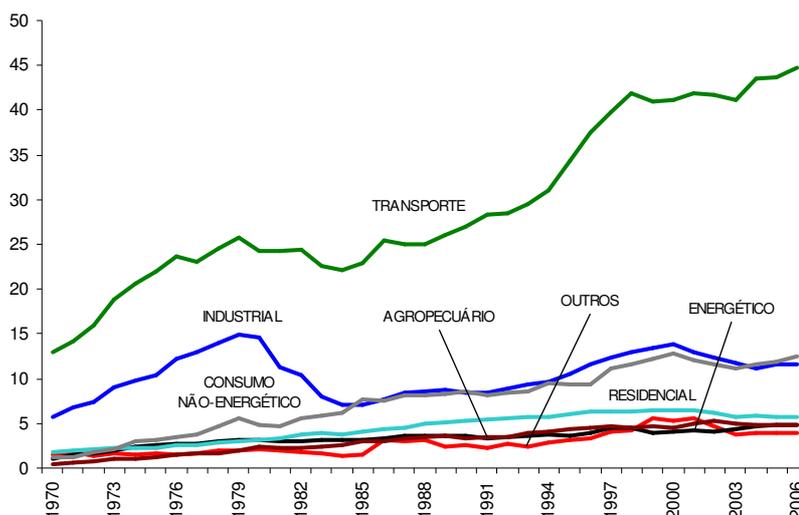


Gráfico 37 – Consumo de derivados de petróleo por setor no Brasil, 1970 – 2006 (10^6 tep).
Fonte: MME, 2007a.

Dentre os derivados do petróleo, o óleo diesel é o mais utilizado, nesse caso considerando todos os setores consumidores. Quanto à utilização total no ano de 2006, o

setor de transportes foi responsável por mais de 78% do diesel disponível no País, entre o produzido no Brasil e o importado (ver gráfico 38), o equivalente a mais de 31 bilhões de litros. Desse montante consumido de óleo diesel, o setor rodoviário aparece novamente em destaque, como o que mais utilizou o combustível.

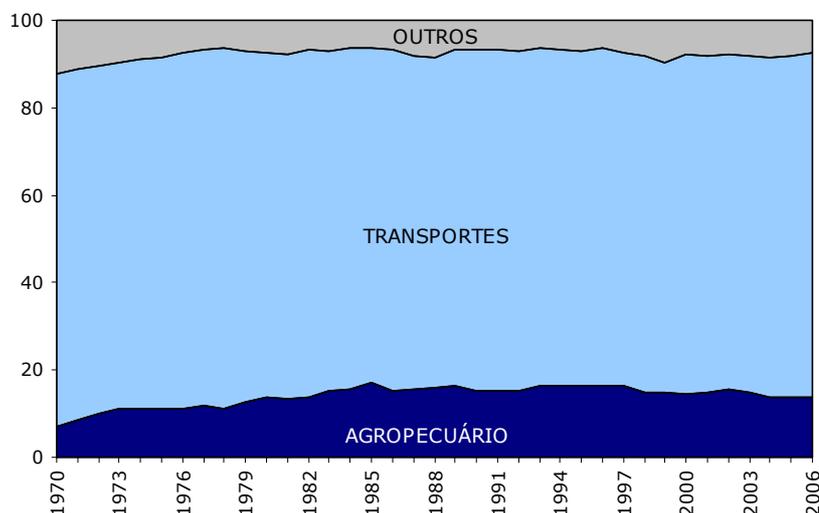


Gráfico 38 – Percentual do consumo de diesel por setor no Brasil (1970 – 2006).
Fonte: MME, 2007a.

Os elevados índices de consumo de óleo diesel pelo setor de transportes, em especial pelo modal rodoviário, não são recentes. Dados contidos no Balanço Energético Nacional do período de 1970 a 2006 demonstram que o óleo sempre se posicionou como o combustível de maior uso pelo setor rodoviário brasileiro (gráfico 39).

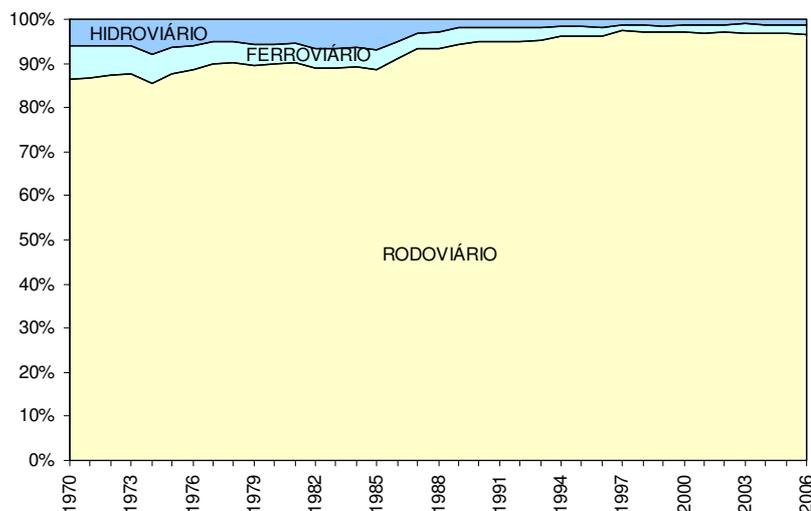


Gráfico 39 – Consumo de diesel por modal de transporte no Brasil (1970 – 2006).
Fonte: MME, 2007a.

Considerando a utilização dos principais combustíveis como óleo diesel, gasolina, álcool e o gás natural, por todos os tipos de veículos que compõe o setor de transportes, a distribuição percentual do uso no ano de 2007 foi de 52,43% para o diesel, 27% para a gasolina, 16,3% para o álcool e 4,26% para o gás natural (MME, 2007b). No passado o volume utilizado de gasolina era superior ao de diesel, porém, a partir do ano de 1977 houve uma inversão, conforme apresentado no gráfico 40. Desse momento em diante o óleo se tornou o combustível mais consumido no País, marca que permanece até a atualidade. Esse aumento ocorrido no final da década de 1970 se deu por várias razões, dentre elas o subsídio aplicado ao preço do produto e a redução da produção de caminhões movidos a gasolina, extintos das linhas de montagem desde o ano de 2004.

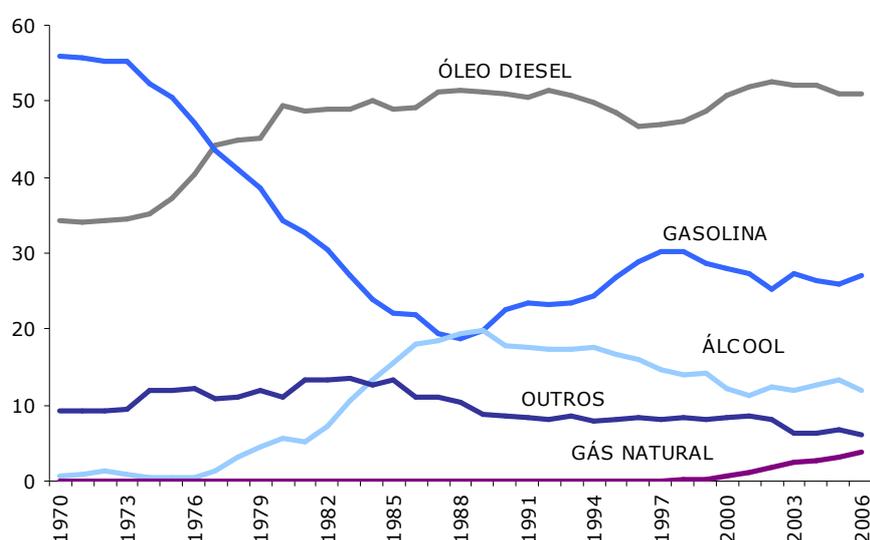


Gráfico 40 – Percentual de consumo de combustíveis pelo setor de transportes brasileiro (1970 – 2006).
Fonte: MME, 2007a.

Quanto ao transporte rodoviário, considerando o uso de combustíveis somente por ônibus e caminhões, praticamente a totalidade da frota é movida a diesel, contando apenas com alguns veículos remanescentes, principalmente da década de 1980 e 1990, movidos a gasolina. Por ser o combustível mais utilizado no Brasil e por ter nos ônibus e caminhões suas principais fontes demandantes, estes veículos podem ser considerados os grandes responsáveis pelos atuais níveis de consumo.

Uma das conseqüências negativas da utilização do óleo diesel são as emissões de poluentes atmosféricos. Dos veículos que transitam nos centros urbanos, os ônibus e caminhões são os que mais emitem gases nocivos à saúde humana e ao meio ambiente. O último relatório da CETESB sobre a qualidade do ar no estado de São Paulo apresentou as estimativas de emissões de veículos com motores ciclo Otto e Diesel para o ano de 2007, conforme demonstrado na tabela 10.

FONTE DE EMISSÃO		EMIÇÃO (1000 t/ano)				
		CO	HC	NO _x	SO _x	MP ⁴
TUBO DE ESCAPAMENTO DE VEÍCULOS	GASOLINA C ¹	655,3	67,4	43,8	3,9	4,7
	ÁLCOOL + FLEX	194,6	22,2	13,5	-	-
	DIESEL ²	383,3	59,7	277,1	3,8	14,1
	TÁXI	1,9	1,0	2,1	-	-

Tabela 10 – Estimativa de emissão das fontes de poluição do ar na RMSP em 2007.

Fonte: CETESB, 2008, p.91.

1 – Gasolina C, contendo 22% de álcool anidro e 350 ppm de enxofre (massa).

2 – Diesel com 350 ppm de enxofre (massa).

As emissões dos veículos ciclo Otto são maiores em termos absolutos, porém, as estimativas foram realizadas a partir de uma frota de sete milhões de veículos com ciclo Otto e 460 mil com ciclo diesel. Ao dividir o volume emitido pelo número de veículos, considerando dois grupos, o resultado demonstra maiores emissões para os veículos a diesel, conforme a tabela 11. Parte da explicação está na idade média da frota. A proporção de veículos de passeio novos, com tecnologias que emitem menos poluentes, na composição da frota com motor Otto é muito superior aos novos caminhões e ônibus que passaram a compor a dos motores Diesel. Uma das conseqüências da maior idade média dos ônibus e caminhões é o elevado índice de emissões.

Tipo de motor	CO	HC	NO _x	SO _x	MP
Otto	121,69	12,94	8,49	0,56	0,67
Diesel	833,26	129,78	602,39	8,26	30,65

Tabela 11 – Estimativa média de emissão por veículo na RMSP em 2007 (kg/ano).

Fonte: Elaborado a partir de CETESB, 2008, p.91.

Quando se trata dos novos veículos a diesel, os avanços técnicos para a redução das emissões têm sido significativos. Eles poluem muito menos em razão das mudanças nos combustíveis, com a redução de compostos poluentes e nocivos à saúde, e pelo desenvolvimento e aprimoramento dos próprios motores e sistema de propulsão, com melhor rendimento e conseqüente redução das emissões. Evidente que apesar das melhorias, ainda existe muito a fazer e grandes desafios a serem superados, em especial em países que ainda não utilizam as tecnologias disponíveis.

A opção pelo modal rodoviário, a escolha do diesel como principal combustível e a definição das tecnologias de propulsão são o resultado de decisões instituídas ao longo de anos, algumas em tempos longínquos. Não restam dúvidas que os fatores que de alguma forma estão relacionados ao uso das tecnologias capazes de reduzir as emissões de ônibus e caminhões estão ligados ao passado. O retrospecto evidencia a forte relação entre o

transporte rodoviário, o consumo de diesel e a questão ambiental. A opção pelo modal rodoviário para o transporte de cargas e passageiros, certamente gerou ao País algum nível de dependência desses veículos e do combustível que os movimentam. A atual situação reflete essa condição, que não pode ser transformada em curto espaço de tempo e dependerá do envolvimento de diversos atores.

A recente preocupação com alguns temas ambientais, como o aquecimento global, tem estimulado o debate sobre os impactos das atividades humanas sobre o meio ambiente, inclusive do setor de transportes. O reflexo chega aos diversos setores da sociedade e, em especial, aos setores produtivos, normalmente responsáveis por grande parte dos danos e transformações ocorridas na natureza. Como consequência, a forma de produção, os próprios produtos e o consumo mudam, por conscientização, necessidade ou imposição legal.

No setor de transportes, a questão ambiental pode ter conduzido as indústrias a ações espontâneas para o desenvolvimento de alternativas menos poluentes, porém, certamente a participação do Estado, com políticas e instrumentos legais, teve e sempre terá um papel central nas mudanças. Por essa razão, entender a história das políticas de transporte, meio ambiente, energia e C&T e seus desdobramentos práticos, por meio dos programas e ações governamentais é parte crucial na tentativa de identificar a relação entre os fatores incidentes na inserção de alternativas tecnológicas para a redução das emissões de ônibus e caminhões a diesel no Brasil e o Estado.

2. POLÍTICAS, PROGRAMAS E LEGISLAÇÃO

As políticas públicas fazem parte de qualquer Estado democrático e são responsáveis pela direção em que segue um país. Delas se derivam as estratégias que nortearão o futuro da nação. São executadas sob a forma de programas, projetos, ações e diversas outras ferramentas de gestão e operação. Elas determinam a forma de gerir e aplicar os recursos públicos. O desdobramento tangível da política pode resultar na formulação de programas, instrumentos que podem, por sua forma, receber e indicar a aplicação de recursos para fins específicos, passíveis de acompanhamento quanto à realização e verificação do alcance de seus objetivos.

Além dos programas, que podem ser compostos por projetos ou simplesmente por suas ações, as políticas podem resultar na elaboração de leis, que representam um de seus principais instrumentos para a implantação de estratégias e diretrizes de uma nação. A abrangência das leis chega até a questão da utilização dos recursos financeiros. Onde e como eles serão aplicados depende de amparo legal. Além da questão econômica, as leis possuem abrangência muito maior, representam a forma de ordenar do Estado em relação às questões que não são passíveis de autocontrole e exigem a obrigação de fazer ou obedecer dos membros de uma sociedade.

Em razão da relevância dos instrumentos de gestão do governo, este capítulo abordará de forma sucinta, a política de transportes, energética e algumas outras relacionadas ao tema, além de seus desdobramentos, como alguns programas históricos e a legislação utilizada ou de alguma forma ligada ao processo de concretização das políticas e programas analisados. O que se pretende neste capítulo é analisar o processo histórico e identificar as políticas que corroboraram para a atual situação do transporte rodoviário e as tecnologias utilizadas para reduzir a emissão de veículos pesados.

2.1. Políticas

As políticas públicas constituem-se como o principal instrumento dos governos para determinar as diretrizes e rumos de uma nação. Representam o reflexo daquilo que pensam os governantes e o que pretendem fazer. Segundo Stromquist (1996, p.27), políticas públicas se referem, em tese, a declarações oficiais dos governos de intenções de agir sobre determinados problemas. As políticas são influenciadas pela história, pois não conseguem, em um regime democrático, se desligarem por completo das estruturas e modelos existentes de governo, mas ao mesmo tempo, também são responsáveis por determinar a formação da história. Os acontecimentos do passado e do futuro estão, de alguma forma, ligados às políticas vigentes em seu tempo.

Por essa relação, a análise de algumas políticas que influenciaram as decisões passadas e suas possíveis relações com o presente e o futuro é tarefa indispensável. A formação da matriz de transportes, a opção pelo modal rodoviário, o tipo de veículo, os combustíveis e as tecnologias utilizadas refletem as diretrizes políticas de determinada época. Quatro políticas, em especial, estão intimamente ligadas à formação, situação atual e perspectivas do setor de transporte; são elas: a própria política de transportes, a política energética, a política de ciência e tecnologia e a política de meio ambiente.

De forma simplista, pode-se dizer que a política de transporte é aquela que indica como e onde ocorrerão os deslocamentos de cargas e pessoas. A política energética, apesar de sua amplitude, determina o tipo de fonte de energia que os veículos utilizam. A política de ciência e tecnologia fornece os recursos tecnológicos para a execução da política de transporte e energética. Por fim, a política de meio ambiente, que orienta até onde as demais políticas poderão seguir sem causar danos ao meio ambiente.

2.1.1. Política de transportes

Deve compreender todos os modais e suas integrações. No caso brasileiro, apesar de contemplar esse ideal, a política foi e ainda continua sendo orientada ao modal rodoviário. O processo histórico já relatado no primeiro capítulo demonstra a expansão do transporte rodoviário e conseqüente queda de todos os demais. A ampliação e expansão das rodovias, a crescente produção de automóveis e a necessidade de garantir a produção de combustíveis evidenciaram que a opção prioritária para o transporte de cargas e passageiros foi, desde a década de 1930, o rodoviário.

Os problemas enfrentados pelas companhias ferroviárias, principalmente após a Segunda Guerra Mundial, não eram prioridade para o governo. Segundo Castro e Lamy (1994, p.19), o transporte ferroviário não estava preparado para competir com o rodoviário, o déficit era constante em razão das más condições das linhas, da falta de capital de giro, das baixas tarifas, impostas pelo governo, pelos altos salários, baixa qualidade administrativa e elevados índices de inflação.

A falta de investimentos no sistema levou ao endividamento e apropriação por parte do Estado, que assumiu a operação de grande parcela da rede. A partir da década de 1990 a situação novamente é revertida. Com a implantação do Programa Nacional de Desestatização e por meio do decreto nº. 473 de março de 1992 a realização de leilões dos trechos da RFFSA foi autorizada, porém, somente iniciados no ano de 1996. Com a privatização o sistema voltava a receber novos investimentos em montantes crescentes. Em 1997 os investimentos foram totalizados em R\$ 560 milhões, sendo R\$ 162 milhões da União e R\$ 398 milhões das concessionárias. (CNT, 2007, p.15).

Os recursos aplicados no sistema ferroviário aumentaram após as concessões, mas ficaram bem abaixo do realizado no transporte rodoviário. O gráfico 41 demonstra os investimentos públicos na infra-estrutura de transporte na década de 1990. A partir do ano de 2003 o volume de recursos financeiros empregados no sistema ferroviário cresceu de forma significativa, ultrapassando a quantia de R\$ 1 bilhão e chegando a R\$ 3,1 em 2005 (CNT, 2007, p.15).

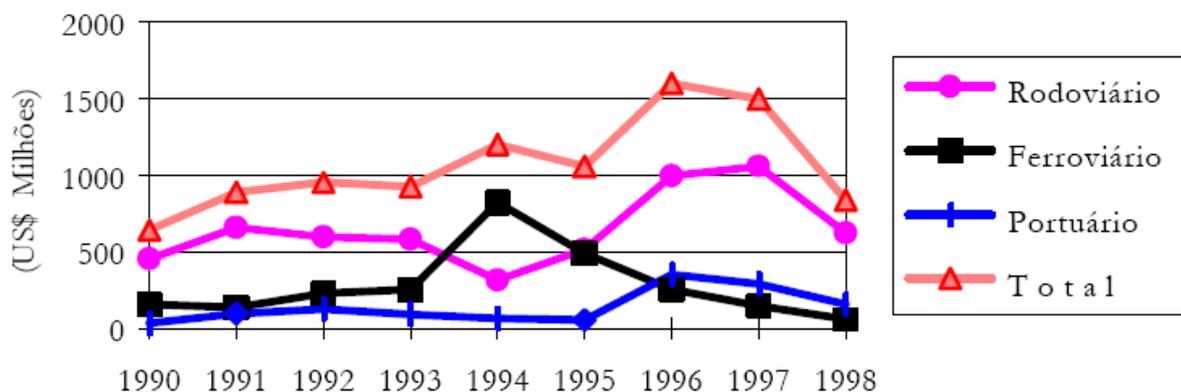
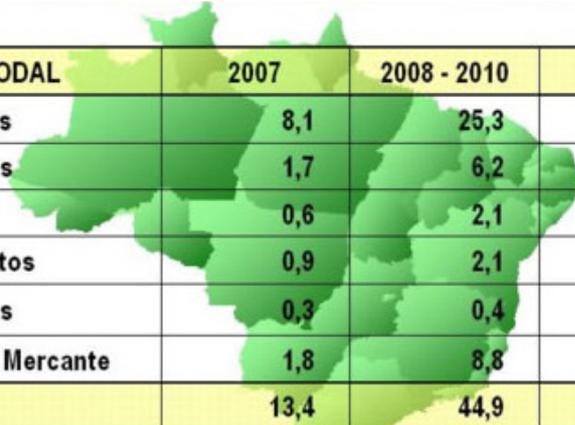


Gráfico 41 – Investimentos em infra-estrutura de transporte no Brasil (1990 – 1998²²).
 Fonte: PÉGO FILHO; CÂNDIDO JÚNIOR; PEREIRA, 1999, p.18.

Com a utilização de recursos privados o desempenho do sistema melhorou. Segundo Reis (2008, p.5), de 1997 a 2007 houve um aumento de produtividade na ordem de 88% de TKU²³, redução de 17% no consumo de combustível, redução de 81% no número de acidentes e o número de empregados mais que dobrou. Ainda que diante de bons resultados, a política de transportes continua sendo orientada e tem como prioridade a utilização do modal rodoviário para o transporte de cargas.

O Programa de Aceleração do Crescimento (PAC), lançado pelo Governo Federal, está orientado para a infra-estrutura e tem previsão de investimentos na ordem de R\$ 58,3 bilhões em infra-estrutura logística, dos quais 57% serão destinados ao transporte rodoviário. A tabela 12 mostra os valores a serem aplicados no setor de transportes. Mesmo com as concessões e com o montante investido pelo setor privado no sistema ferroviário, as políticas públicas serão as responsáveis em determinar a expansão desse modal.

²² Os dados para o ano de 1998 são preliminares.
²³ Tonelada por quilômetro útil.



R\$ bilhões

MODAL	2007	2008 - 2010	TOTAL
Rodovias	8,1	25,3	33,4
Ferrovias	1,7	6,2	7,9
Portos	0,6	2,1	2,7
Aeroportos	0,9	2,1	3,0
Hidrovias	0,3	0,4	0,7
Marinha Mercante	1,8	8,8	10,6
TOTAL	13,4	44,9	58,3

Tabela 12 – Previsão de investimentos em infra-estrutura logística no Brasil, 2007-2010.
 Fonte: BRASIL, 2008a.

Segundo Reis (2008, p.31), “cumpre realçar que o aumento da capacidade logística do transporte ferroviário depende fundamentalmente da ação governamental, já que a expansão da malha ferroviária está além das atribuições das concessionárias”. Ao que parece, ao menos pelos números apresentados nos relatórios do PAC, os investimentos serão insuficientes para uma expansão significativa da malha. A meta física para o transporte ferroviário é de 2500 km, dos quais menos de 10% estão sob a responsabilidade do Governo Federal (BRASIL, 2008b). O problema da falta de investimentos para a expansão da malha ferroviária não foi percebido somente no PAC. Já no Plano Plurianual de 2004 – 2007, Azeredo (2004, p.13), afirmava que existia uma enorme disparidade entre a intenção de construir uma extensão de pouco mais de 2400 km de malha e a disponibilidade de recursos para financiar tais obras.

Parece evidente para o setor de transporte de cargas que, por razões diversas, a prioridade para o governo continua sendo o modal rodoviário. A atual política de transportes aparenta estar voltada a manutenção ou tímida expansão dos demais modais de transporte, enquanto investe grandes montantes no sistema rodoviário. Somente em termos de expansão, está previstas a construção de quase sete mil quilômetros de rodovias entre 2007 e 2010 (BRASIL, 2008b). Essa situação vai de encontro com a idéia de Castro e Lamy (1994, p.53), de que as dificuldades do setor ferroviário “provêm essencialmente da falta absoluta de recursos públicos para investir e de um vácuo institucional e regulamentar proveniente de circunstâncias históricas e opções estratégicas de planejamento do setor de transportes”.

A política de transportes divide-se basicamente em duas vertentes: cargas e pessoas. O foco da política para o deslocamento de cargas é completamente orientado ao modal rodoviário. Com relação ao deslocamento de pessoas, seja ele coletivo ou individual, apesar do enfoque ser mais diversificado, a opção pelo sistema rodoviário também é predominante. Diferente do transporte de cargas, o de pessoas nem sempre é realizado como uma

atividade comercial, por essa razão, além da avaliação do custo do deslocamento, o usuário leva em consideração outros fatores, como por exemplo, o conforto e a mobilidade.

Dentre vários fatores, a expansão da estrutura associada ao sistema rodoviário foi um dos responsáveis pelo aumento no fluxo de veículos particulares – nesse caso carros de passeio – e o conseqüente aumento de unidades fabricadas. A produção nacional saltou de 1.166 unidades em 1957 para 139.260 no período de 10 anos. De 1967 a 1977 o salto foi ainda maior. Esse crescimento exponencial se repetiu por quase todos os anos, conforme o gráfico 42, e chegou à marca dos mais de 2,3 milhões de veículos produzidos no ano de 2007.

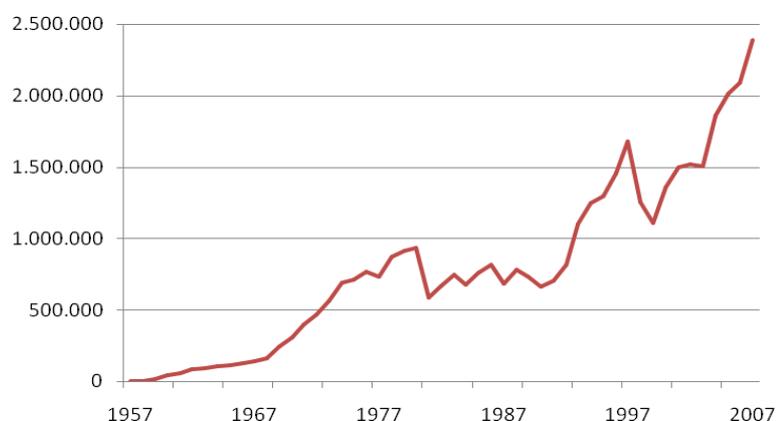


Gráfico 42 – Produção nacional de automóveis – carros (1957 – 2007).
Fonte: ANFAVEA, 2008, p.54.

Com uma frota crescendo nas proporções apresentadas é natural que o trânsito comece a apresentar uma série de problemas, principalmente nas grandes capitais. A cidade de São Paulo registrou no ano de 2007 os maiores congestionamentos de sua história, ultrapassando os 250 km. Além de São Paulo, outras capitais também já apresentam sinais de esgotamento, com a redução das velocidades de deslocamento e aumento do tempo de permanência no trânsito. O crescimento acelerado da frota de veículos de passeio não é parte da política de transportes, mas, é apoiado por outras, principalmente pelo impacto econômico da indústria automobilística no País. A indústria de veículos nacional é a oitava maior do mundo e a décima primeira em exportações, condição que decisiva nas ações relacionadas ao setor de transportes.

Existe um consenso de especialistas quanto à necessidade de reduzir o uso de veículos individuais em favor do transporte coletivo. Para o pesquisador Américo Kerr seria necessário desobstruir o caminho dos ônibus, ainda que isso implicasse em confinar os carros em menores espaços. Com o tempo, essa atitude levaria os motoristas a compreenderem que é melhor usar o ônibus ao invés do carro (FREIRE, 2000, p.62). Por

essas e outras razões está em tramitação o Projeto de Lei, nº. 1.687 de 2007 que promete, de fato, priorizar o transporte coletivo em detrimento do individual. Ao invés da construção de obras que beneficiam os automóveis, o foco será no transporte público por ônibus ou metrô.

A atual cobertura das linhas do metrô, em especial o caso da cidade de São Paulo, é extremamente deficitária, basta destacar o caso da Linha Vermelha, considera a mais lotada do mundo. Além disso, sua expansão foi muito lenta e ainda é curta. A implantação das linhas ocorreu juntamente com a cidade do México, que chegou aos 200 km, enquanto São Paulo se limitou a pouco mais de 60 km (SCHLINDWEIN, 2008, p.41).

O elevado custo das obras do metro, a precariedade do transporte ferroviário urbano e a urgência de soluções para o trânsito indicam a tendência de expansão do transporte coletivo, principalmente por ônibus. Segundo Scaringella (2001, p.56), existia um modelo clássico para o desenvolvimento do transporte na cidade de São Paulo, que consistia em uma malha de 400 km de vias expressas, 200 km de rede metroviária e 270 km de rede ferroviária urbana, tudo inviável em função da falta de recursos, tempo e espaço para a construção da infra-estrutura necessária.

O longo período de tempo sem investimentos no sistema metroviário e ferroviário urbano, além da quase ausência de vias para deslocamentos não motorizados associada ao crescente volume de veículos particulares utilizados no transporte coletivo, tem conduzido a um processo semelhante ao ocorrido no sistema de transporte de cargas. A solução de curto prazo e a mais econômica passa a ser a substituição dos carros e outras formas de deslocamento pelos ônibus. Mesmo que a política nacional de transportes não seja simples e composta por ações como somente a substituição do tipo de veículos, os fatores impeditivos do plano clássico para o transporte da cidade de São Paulo representam uma complexa questão a ser resolvida.

O Plano de Expansão para o setor de transportes elaborado pelo Governo do Estado de São Paulo prevê investimentos de mais de R\$ 16 bilhões, dos quais mais de 92% seriam destinados ao metrô e trens e o restante ao transporte por ônibus. A previsão de investimentos seria para o período de 2007 – 2010, dos quais R\$ 1 bilhão viria da Prefeitura (STM, 2006). O montante já captado até junho de 2008 foi de aproximadamente R\$ 4,8 bilhões, pouco menos de 1/3 do total previsto (GESP, 2008). Mesmo com parte dos recursos disponíveis e se realizadas as previsões dos outros 2/3 do investimento, a questão mencionada por Scaringella poderá vir a ser um problema. O Estado teria o recurso financeiro, mas não se sabe se teria espaço e, principalmente, tempo suficiente para as mudanças antes do verdadeiro colapso.

Mantidas as diretrizes da atual política de transportes o que se pode esperar em pouco tempo é o transporte de cargas e passageiros sendo predominantemente formado por

caminhões e ônibus. O domínio dos caminhos representa nada mais do que a manutenção do *status quo*, condição sem perspectivas de mudança em curto prazo. Os ônibus seriam uma consequência da necessidade de uma rápida migração do transporte individual para o transporte público, a qual tem nessa mudança a forma, talvez a não mais eficiente, mas certamente a mais rápida e barata. Enquanto um quilômetro de trilhos do metrô custa em média US\$ 100 milhões e leva cerca de seis meses para ser construído, um quilômetro de estrada custa aproximadamente US\$ 500 mil e leva aproximadamente 10 dias para ser construído.

2.1.2. Política energética

A política energética abrange as questões relacionadas à produção, distribuição e armazenamento de energia de todas as naturezas para as mais variadas finalidades. Segundo Bicalho (2005, p.9), política energética pode ser definida como uma intervenção estratégica do Estado “que envolve um conjunto de fontes, de cadeias energéticas, de instrumentos e instituições, visando garantir o suprimento, presente e futuro, de energia, necessário ao desenvolvimento econômico e ao bem-estar de uma sociedade”. Em razão do objetivo do trabalho, somente as questões relacionadas às fontes de energia para veículos automotores serão discutidas. A abordagem tratará das questões dos combustíveis fósseis e fontes alternativas de energia dentro da perspectiva da política energética nacional.

A política energética sempre esteve diretamente ligada a de transportes, porém, diferente desta, que se manteve estável por muitas décadas, a energética passou por diversas transformações. O começo do século passado foi marcado por uma política energética passiva, baseada na importação de petróleo. Essa condição perdurou até a década de 1940 quando se iniciou o movimento denominado **o petróleo é nosso**. Não que o país tenha parado de importar o produto, mas era o início de uma nova consciência quanto à importância do petróleo para uma nação. O movimento teve no deputado Arthur Bernardes um dos precursores a favor do monopólio estatal. Era o início de um movimento que ganharia as ruas, rompendo com o oligopólio a partir de um discurso nacionalista, que tinha no anteprojeto do Estatuto do Petróleo um instrumento para determinar o entendimento de que o petróleo era um bem natural e econômico da nação (COELHO, 2007, p.85).

A partir daí seria instituída a Petrobrás e o monopólio estatal e, conseqüentemente, uma política voltada para o petróleo com foco na auto-suficiência. Do início da década de 1950 até o início da década 1970 a ênfase está sobre o uso do óleo, com ações isoladas no sentido de promover a produção e o uso de energias alternativas. As transformações políticas ocorreram somente a partir da década de 1970, com fortes incentivos a outras

fontes de energia além do óleo negro. No segundo choque do petróleo, em 1979, o País importava aproximadamente 85% daquilo que era consumido (FEROLLA; METRI, 2006, p.53), condição suficiente para que a política energética buscasse a diversificação em outras fontes. Segundo Scandiffio e Furtado (2004, p1), “a política de apoio às fontes renováveis alcançou seu auge de 1973 a 1986 (do primeiro choque do petróleo ao contrachoque) tendo verificado um paulatino declínio posteriormente”.

A possível escassez do petróleo conduziu o Brasil à formulação de uma política energética única no mundo. Nesse momento era iniciado o Proálcool, programa que tinha na cana-de-açúcar a base para a produção de etanol, combustível que poderia minimizar a dependência externa do petróleo. O objetivo era livrar o País da crise decorrente do choque do petróleo e minimizar seus impactos sobre a economia. O programa alcançou um nível de destaque ao ponto de impulsionar a criação e a execução de outros semelhantes no mundo. O surgimento do Proálcool e o contexto daquele momento conduziram a decisão de restringir o uso do óleo diesel aos veículos de transporte de cargas e passageiros, como ônibus, caminhões e comerciais leves, considerando que o preço do óleo aumentava constantemente e havia a preocupação em minimizar os impactos sobre o setor de transporte rodoviário de cargas e passageiros.

Passados alguns anos, a queda no preço do petróleo reconduziu a política energética para os combustíveis fósseis. O foco voltava a ser o óleo e a busca pela auto-suficiência. A política energética monopolista manteve-se estável até o governo do presidente Fernando Henrique Cardoso. Baseado em um discurso liberal, o governo promoveu, o que chamou de flexibilização do monopólio. Segundo Ferolla e Metri (2006, p.221), o termo representou um estratagema político para que não ficasse evidente o intuito de acabar com o monopólio estatal. Segundo eles, trata-se de um eufemismo, pois monopólio ou existe ou não existe. Em 1997 ocorreria a regulamentação da Emenda Constitucional nº. 9, a aprovação da nova lei do petróleo, nº. 9.478 e a conseqüente regulamentação da criação da Agência Nacional do Petróleo – ANP (PASSETO, 2002, p.73), condições necessárias para os futuros leilões das áreas de exploração.

No atual governo a política energética ganhou novos traços. A auto-suficiência foi priorizada e a inserção de alternativas energéticas renováveis ganhou espaço. Impulsionado mais por fatores econômicos do que políticos, o álcool retornou ao mercado e abriu caminho para o Programa Nacional do Biodiesel. Com a entrada dos veículos *flexful* no mercado, a produção de etanol voltou a crescer. O Brasil desenvolveu o processo de produção de etanol mais eficiente do mundo, chegando ao menor custo de galão entre todos os produtores. Enquanto os Estados Unidos produzem um galão de 4,5 litros, a partir do milho, a mais de um dólar, o Brasil produz o mesmo galão, a partir da cana, a menos de um dólar (MARQUES, 2008, p.20).

Os biocombustíveis passaram a ter um papel de maior relevância na política energética, mas ainda bem distante do petróleo. Os investimentos previstos no PAC para o setor de petróleo e gás é muito superior aos destinados aos biocombustíveis. Os valores apresentados na tabela 13 demonstram o quanto o petróleo continua sendo o principal produto da matriz energética nacional.



PREVISÃO DE INVESTIMENTO CONSOLIDADO

R\$ bilhões

Ação	Até 2010	Após 2010
Petróleo - Exploração e Produção	93,4	100,2
Refino, Transporte e Petroquímica	45,2	31,7
Gás Natural	40,4	6,2
Combustíveis Renováveis	17,4	27,0
TOTAL	196,4	165,1

Tabela 13 – Previsão de investimentos em petróleo, gás e biocombustíveis.
 Fonte: Fonte: BRASIL, 2008c.

A atual política energética está focada em atender ao crescimento da demanda de etanol e de petróleo e garantir capacidade de produção, no mínimo, 20% superior a demanda, além de tornar o etanol uma *commodity* e o País líder mundial em exportação deste produto. No campo de atuação dos biocombustíveis, a preferência de avanço segue pela via do etanol. Dos R\$ 17 bilhões previstos no PAC para investimentos em biocombustíveis, apenas R\$ 1,2 bilhão está destinado para o biodiesel. O Programa do Biodiesel não ganhou apoio governamental suficiente e desde a sua criação manteve-se como um programa auxiliar de caráter público, mas sem dispor de dotação orçamentária própria.

Mesmo com o espaço ocupado pelos biocombustíveis, mudanças significativas para o setor de cargas e passageiros, quanto ao uso do óleo diesel, ainda não são perceptíveis. A política energética para este setor é a mesma desde a década de 1970. O diesel continua sendo o único combustível utilizado nos veículos, garantindo um papel favorável sob o ponto de vista econômico. Segundo levantamento do IBGE (2006, p.135), da lista dos 100 produtos mais vendidos no Brasil, o óleo diesel é o produto número um da relação. O volume de vendas de óleo no ano de 2006 foi de R\$ 42,8 bilhões, bem superior a do

segundo produto, com vendas de R\$ 25,2 bilhões. Nem mesmo a alta do preço do barril de petróleo conseguiu promover mudanças na política energética em relação ao combustível. O barril saltou de um preço médio de US\$ 20 para mais de US\$ 100 em 2008 (ver gráfico 43), chegando a US\$ 139 no mês de julho.

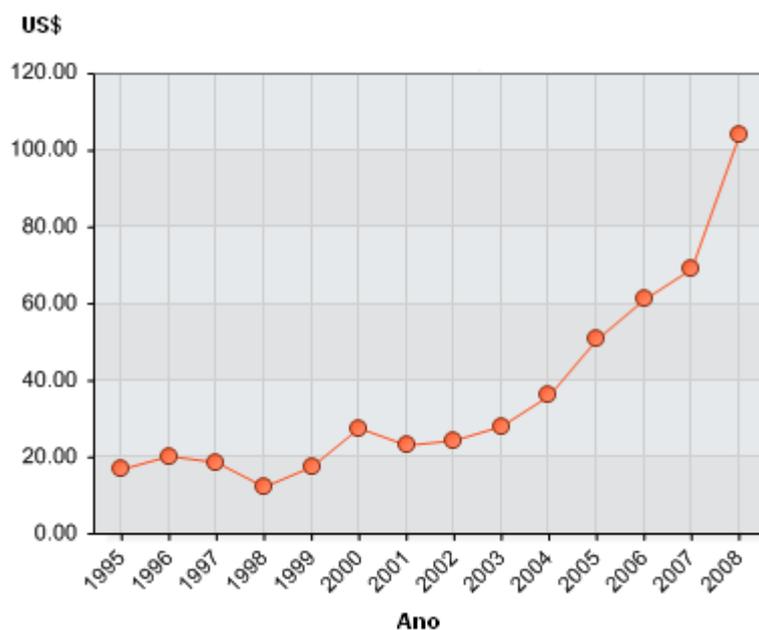


Gráfico 43 – Preço do barril de petróleo, 1995 – 2008.
Fonte: OPEC, 2008.

A idéia de produzir etanol dentro da política energética não está relacionada ao diesel, considerando que o combustível é incompatível com os atuais motores de ônibus e caminhões. A tendência diante das altas do preço do barril é aumentar o subsídio para minimizar os impactos na economia, em paralelo, reduzir as importações e aumentar a produção nacional de diesel, produto sujeito ao controle de preços por parte do Estado. Nesse contexto o biodiesel é somente um aditivo ao diesel, sem perspectiva de se posicionar como substituto do óleo, ainda que de uma pequena parcela, por diversas questões. Uma delas é o volume de produção, ainda muito abaixo da demanda. Além disso, seu papel é muito mais social, servindo como instrumento para o desenvolvimento de pequenos produtores, do que estratégico, em termos energéticos.

2.1.3. Política de meio ambiente

O escopo da análise da política de meio ambiente neste item se restringirá às questões relacionadas ao setor de transportes. A análise do histórico e situação atual se limitará as ações voltadas ao controle e redução da emissão de poluentes atmosféricos

advindos do modal rodoviário. Apesar da amplitude da política de meio ambiente e seus desdobramentos, outras questões, como os impactos da produção de energia para o setor de transportes, não serão analisadas.

A política nacional de meio ambiente está ligada com ambas as políticas apresentadas anteriormente. Pode ser considerada como o instrumento que define o limite de até onde podem ir as outras em termos ambientais. No contexto mundial, as políticas para o meio ambiente não podem ser consideradas recentes, principalmente, nos quesitos relacionados à preocupação com os impactos provocados pelo setor de transportes. Já na década de 1950 os danos provocados por esse setor foram percebidos pelos Estados Unidos. O estado da Califórnia foi o primeiro no mundo a promulgar uma lei para o controle da poluição, implantada em 1963 (MENDES, 2004, p.6).

Ainda que a medida americana tenha sido pioneira, a Conferência de Estocolmo na Suécia, em 1972, foi o evento impulsionador, em todo o mundo, das transformações e que estimulou a criação de órgãos responsáveis pelo controle da qualidade do ar. No Brasil a conferência colaborou para a instituição em São Paulo da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, a CETESB, e no Rio de Janeiro da Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente, a FEEMA (ROSEIRO; TAKAYANAGUI, 2004, p.78), além da Secretaria de Meio ambiente, a SEMA, por meio do Decreto nº 73.030 de 1973.

Mesmo diante de todo o movimento mundial para as questões ambientais e ainda como pioneiro na América do Sul em legislação ambiental, o Brasil somente promulgou a primeira lei para o controle da poluição atmosférica dos veículos automotores no ano de 1976, inicialmente por meio da Lei nº. 997 e Decreto nº. 8468/76 do estado de São Paulo, que se espalhou pelo País através da Resolução nº. 507 e 510 do CONTRAN (MENDES, 2004, p.36). A partir deste momento, mesmo com os baixos índices de emissão de poluentes no Brasil, em comparação com outros países desenvolvidos, a política de meio ambiente para o setor avançou.

Na década de oitenta foi instituída, por intermédio da SEMA, a Política Nacional de Meio Ambiente, responsável pela criação do Sistema Nacional de Meio Ambiente – SISNAMA e do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, que proporia, de fato, a primeira legislação ambiental do País, a Lei nº. 6.938, de 1981 (MENDES, 2004, p.38). Alguns anos depois, em continuidade à política ambiental e por força da Lei nº. 7.735 de fevereiro de 1989 foi criado o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, o IBAMA. O órgão representou a fusão da SEMA, do Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal – IBDF, da Superintendência da Pesca – Sudepe e da Superintendência da Borracha – Sudhevea (BRASIL, 2008d).

Nesse mesmo período, no ano de 1987, foi desenvolvido pela Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento o Relatório de *Brundtland*, denominado de Nosso

Futuro Comum. Nesse documento ficou definido o conceito de desenvolvimento sustentável, evidenciando e difundindo a idéia de equilibrar o crescimento e a gestão dos recursos naturais. O objetivo era se desenvolver de forma equilibrada e dentre as medidas para que isso acontecesse estava o uso de energias renováveis. Mesmo com esse destaque para a questão energética, naquele momento o problema da poluição atmosférica, principalmente advinda do setor de transportes, ainda não era tema de grande relevância. A apresentação do relatório teve ampla repercussão mundial e cooperou para que uma futura conferência fosse realizada no Brasil no ano de 1992.

Antes mesmo da realização da conferência Rio-92, o Brasil por meio de sua política de meio ambiente retomou a questão das emissões veiculares. No ano de 1986 instituiu por meio da Resolução nº. 18 do CONAMA o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores – Proconve, um marco no controle da poluição, que dentre seus vários objetivos, pretendia reduzir os índices de emissões de veículos automotores. Este seria o programa mais específico voltado ao controle das emissões dos veículos automotores no Brasil. Outras resoluções, como a de nº. 5 de 1989 e a nº. 3 de 1990 criaram outros programas, como o PRONAR, porém, eles tinham caráter mais amplo no tocante ao controle da poluição atmosférica. Prioritariamente o objetivo do controle das emissões estava diretamente ligado à redução dos impactos sobre a saúde humana e em seguida sobre o meio ambiente.

A definição de poluente atmosférico contida na Resolução nº. 3 de junho de 1990 evidenciava a abrangência do conceito e o foco do programa. Poluente atmosférico, segundo a resolução, foi definido como qualquer forma de matéria ou energia, com intensidade e quantidade em desacordo com os níveis estabelecidos, que tornassem ou pudessem tornar o ar impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde, inconveniente ao bem-estar público, danoso aos materiais, à fauna e flora e prejudicial à segurança e ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade (CONAMA, 1990).

Com a realização da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, também conhecida por Rio 92, a preocupação com a poluição atmosférica aumentou. Os países participantes relataram em um dos capítulos da Agenda 21 Global a questão da proteção à atmosfera, em razão do elevado volume de poluentes emitidos e as possíveis conseqüências à humanidade. Nesse momento as mudanças climáticas, em conseqüência do efeito estufa, começaram a ganhar destaque e a emissão, principalmente de dióxido de carbono – CO₂, tornou-se um problema mundial.

Um dos setores responsáveis pelos maiores índices de emissões de poluentes há muitas décadas é o de transportes. Desde a época do Relatório de *Brundtland* o setor, com ênfase ao rodoviário, era responsável por elevados índices de emissão de CO₂ e outros gases nocivos à saúde, apesar dessa condição ser pouco reconhecida na época. Os dados

apresentados recentemente em um relatório produzido pelo *Intergovernmental Panel on Climate Change* – IPCC, conforme o gráfico 44, confirmam o que estava indicado como um ponto relevante na Agenda 21 Global e hoje representa um grande problema mundial: as emissões de dióxido de carbono pelo transporte rodoviário.

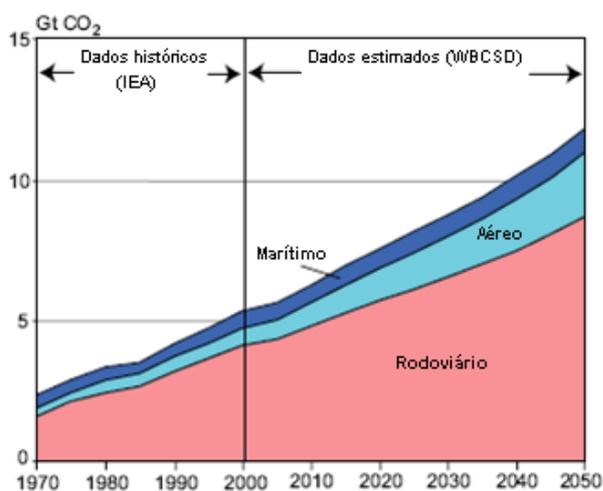


Gráfico 44 – Estimativas e emissões mundiais de CO₂ no mundo por setor de transporte.
Fonte: RIBEIRO *et al.* 2007, p.334.

O tema aquecimento global sacudiu o mundo, mas mexeu pouco com a política brasileira de meio ambiente. A legislação para o controle das emissões de poluentes atmosféricos de veículos automotores permaneceu sem tratar das emissões de CO₂, condição que perdura até a atualidade. Os limites de emissões estabelecidos pelo CONAMA se limitaram as partículas totais em suspensão, fumaça, partículas inaláveis, dióxido de enxofre, monóxido de carbono, ozônio, dióxido de nitrogênio (CONAMA, 1990), hidrocarbonetos totais, hidrocarbonetos não metano, aldeídos, óxido de nitrogênio e material particulado (CONAMA, 2002). Nenhum dos seis gases mencionados no Protocolo de Kyoto – dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), hidrofluorcarbonos (HFC), perfluorcarbonos (PFC), hexafluoreto de enxofre (SF₆) – tiveram a emissão controlada no Brasil com relação ao setor de transportes.

O trato das emissões relacionadas com o aquecimento global veio somente com a publicação da Agenda 21 Brasileira, que representou um avanço, ao menos em termo de política, no trato com o tema. Diversos objetivos e estratégias foram definidos para reduzir as emissões, e no caso da Agenda 21, houve uma análise integrada entre as causas, possíveis soluções e seus impactos. O setor de transporte estava indicado com um dos segmentos que deveriam promover transformações, com medidas para reduzir a poluição e a emissão dos gases de efeito estufa. Ações como o uso de combustíveis renováveis e a

inserção de tecnologias limpas passaram a fazer parte do escopo daquilo que também comporia a política de meio ambiente.

Apesar dos debates a respeito da Agenda 21 Brasileira serem iniciados no começo da década de 1990, o documento ficou pronto somente no início da década seguinte. Por essa e outras razões as emissões de CO₂ pelo setor de transportes foi um ponto considerado pouco relevante na política ambiental do passado. O instrumento que poderia motivar sua introdução na legislação estava adormecido. A prioridade quanto à emissão de poluentes atmosférico limitava-se a garantia da saúde e a minimização dos impactos sobre vegetações e animais. Segundo Boeira (2004, p.10) a política de meio ambiente no governo anterior cooperou para a fragmentação e enfraquecimento dos órgãos ambientais. A política ambiental, não somente no governo passado, mas também nos outros anteriores, pautou-se em uma forma de atuação baseada em um sistema de comando e controle, visando regular as atividades com impactos negativos mais evidentes sobre o meio ambiente. Com o desaparecimento dos órgãos ambientais houve somente a transição de uma política mais ampla, com perspectiva qualitativa, para uma mais restrita, focada nos problemas mais evidentes.

O governo atual buscou a reestruturação de alguns órgãos ambientais, deu prosseguimento às questões do aquecimento global e com relação à poluição atmosférica, manteve o Proconve, atualizando os limites de emissões por meio da Resolução nº. 315 do ano de 2002. Ações de reestruturação dos órgãos ambientais foram realizadas com o objetivo de combater as ações mais emergenciais, com impacto direto sobre os recursos naturais. O tema do aquecimento global avançou até a aprovação do texto do Protocolo de Kyoto e a indicação da criação de Mecanismos de Desenvolvimento Limpo – MDL.

A atual política está focada nos problemas de grande impacto ambiental, como o desmatamento, as questões hídricas, as florestas e a recuperação e conservação do bioma brasileira. A questão das emissões veiculares está com metas definidas até o ano de 2009 para os veículos leves e pesados, mas ainda sem tratar da emissão de dióxido de carbono. As emissões de CO₂ supostamente serão tratadas com maior prioridade a partir deste ano, momento em que o Ministério do Meio Ambiente – MMA conseguiu encaixar no PPA 2008/2011 um programa destinado aos problemas do aquecimento. A medida ainda é pouco representativa, mas significa um avanço se comparada com aquelas contidas nas políticas anteriores.

O que se pode observar na política de meio ambiente é que quanto ao trato das emissões veiculares o objetivo é minimizar os impactos, prioritariamente, sobre a saúde humana e depois sobre a fauna e a flora local. As emissões de gases de efeito estufa do setor de transporte ainda são consideradas baixas e um ponto secundário a ser tratado

depois de outras fontes, como as emissões decorrentes das queimadas e das atividades industriais.

2.1.4. Política de C&T

Os avanços para a redução das emissões de CO₂ ou qualquer outro tipo de poluente atmosférico virão por meio da aplicação de tecnologias, sejam elas novas ou não. A política de ciência e tecnologia pode desempenhar um papel fundamental nesse contexto, auxiliando no desenvolvimento e comercialização dessas tecnologias. Assim como nas abordagens anteriores, o foco no trato da política de ciência e tecnologia brasileira será nos pontos ligados ao setor de transporte rodoviário.

A política de ciência e tecnologia no Brasil ganhou força, ou pode-se até dizer que surgiu, a partir da década de 1950, com a criação do Conselho Nacional de Pesquisas, o atual CNPq, que se tornou, até a criação do Ministério de Ciência e Tecnologia, o órgão responsável em conduzir a política nacional. A criação do CNPq em 1951, por força da Lei nº. 1310 de 1951, representou o marco da participação do Estado no processo de desenvolvimento científico e tecnológico nacional (BARBIERI, 1993, p.1). Antes disso existia parte de uma estrutura científica ainda em fase de formação. Segundo Schwartzman (1993, p.5), “algumas das instituições científicas brasileiras datam do século XIX [...], entretanto, a maior parte do atual sistema de C&T foi criada durante o regime militar, entre 1968 e 1980”.

Além do CNPq, em 1951 também surgiu a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, CAPES e no ano de 1965 nasceu outra instituição de fomento a atividade de ciência e tecnologia, a Financiadora de Estudos e Projeto, FINEP. Nesse mesmo período de expansão do sistema de C&T, além das instituições foram criados instrumentos de fomento a atividade de ciência e tecnologia, como o Fundo Nacional do Desenvolvimento da Ciência e Tecnologia – FNDCT, promulgado em 1969 pelo Decreto Lei nº. 719. A base de fomento ao desenvolvimento científico e tecnológico estava formada no começo da década de 1970, mas em poucos anos começaram a surgir alguns problemas, principalmente relacionados a falta de recursos e continuidade das ações.

Segundo Neves (2002, p.234), o período de 1980 a 1990 foi marcado por uma fase de crise nas atividades de ciência e tecnologia em razão da instabilidade orçamentária para o setor, a burocratização das agências e instituições de fomento e a ausência de uma política mais específica para a área de C&T. Neste período criou-se o Ministério da Ciência e Tecnologia, MCT, por força do Decreto 91.146 de 15 de março de 1985, que passou a ser o responsável pela condução da política nacional de ciência e tecnologia. A estabilidade do MCT durou até em 1989, quando o governo o extinguiu alegando a necessidade de cortar gastos. A medida durou pouco tempo e no mês de dezembro do mesmo ano o MCT voltou a

ser instituído. Alguns meses depois, já no governo Collor, o ministério foi novamente extinto, sendo novamente reinstituído ao final do ano de 1992 (BARBIERI, 1993, p.5).

Este período afetou todo o sistema de C&T. Além do próprio MCT, o CNPq passou por problemas de reestruturação e perda de diversas atribuições. O período entre a década de 1980 e 1990 foi extremamente danoso as atividades de ciência e tecnologia no País, com uma política descontinuada e pouco estimulada. O setor, como vários outros, pressionava por mais recursos, com êxitos parciais, mas perdendo terreno no longo prazo (SCHWARTZMAN, 1993, p.8). Os investimentos em C&T eram extremamente baixos e reduziam com as instabilidades, conforme demonstrado na tabela 14. As atividades de C&T seriam retomadas com a estabilidade política e econômica que surgida na década de 1990 com o governo Fernando Henrique Cardoso.

Ano	% PIB
1981	0,38
1982	0,44
1983	0,39
1984	0,36
1985	0,45
1986	0,48
1987	0,56
1988	0,57
1989	0,47
1990	0,37
1991	0,34

Tabela 14 – Percentual do PIB investido em C&T no Brasil (1981 – 1991).
Fonte: BARBIERI, 1993, p.5.

A década de 1990 foi um período de reestruturação da política de C&T. A diretriz liberal do governo FHC compreendia como prioridade a instituição de um sistema de ciência e tecnologia no País, não somente pelo Estado, mas principalmente pela iniciativa privada. Em 1995 os investimentos em ciência e tecnologia chegaram a 0,7% do PIB, o que ainda representava um percentual baixo e deveria ser elevado para algo em torno de 2%, com a maior parte dos investimentos sendo realizados pela iniciativa privada (RANGEL, 1995, p.9). No ano de 1999 os investimentos aumentaram e chegam a aproximadamente 1,2% do PIB (VALENTIM, 2002, p.94).

Nesse período os investimentos por parte da iniciativa privada continuavam sendo considerados baixos e essa era uma das razões para o governo pensar em uma política voltada ao crescimento das atividades de C&T financiada pelo Estado, mas principalmente, pela iniciativa privada. No ano de 1998 os investimentos em pesquisa e desenvolvimento (P&D) por parte das empresas privadas brasileiras correspondiam a 35,7%, percentual que

colocava o País na frente do México e Portugal, mas atrás de outros, como a Coréia, o Japão e a Irlanda, cujos investimentos se situavam em torno de 70% (NEVES, 2002, p.247).

Os percentuais de participação da iniciativa privada variam de acordo com o setor e sua demanda por investimentos em P&D. A idéia de poder estimular o desenvolvimento de acordo com as necessidades dos setores levou o governo à criação dos fundos setoriais. O primeiro fundo foi promulgado em 1997 por meio da Lei nº. 9.478, com destinação para o setor de petróleo. Depois desse fundo foram criados mais outros 15, com a aplicação de recursos orientada para vários outros setores considerados importantes para o progresso científico e tecnológico nacional. Além do desenvolvimento setorial o objetivo dos fundos era e continua sendo garantir a continuidade dos investimentos em C&T.

Apesar dos esforços não houve um aumento significativo dos montantes aplicados em ciência e tecnologia em função das restrições impostas pelo governo para a aplicação dos fundos (TAVARES, 2005, p.3). Ocorreu uma vinculação para a destinação dos recursos aplicados, mas não um aumento. A idéia de estimular o desenvolvimento setorial trazia consigo, também, a intenção de estimular a aplicação de recursos por parte da iniciativa privada. A orientação para a aplicação dos fundos em projetos de P&D, com maior orientação empresarial, esperava induzir o investimento privado sob a forma de contrapartidas financeiras nos projeto, contudo, a capacidade dos fundos em realizar essa indução foi insuficiente, ao menos em termos financeiro (MILANEZ, 2007, p.130).

Essa relação entre iniciativa privada e governo, quanto às questões do desenvolvimento científico e tecnológico, sempre representou um ponto crítico no Brasil. O percentual de investimentos, o direito de propriedade e muitas outras questões dividem opiniões e dificultam o avanço das áreas de C&T no Brasil. As dificuldades chegam até os centros de pesquisa, normalmente localizados nas faculdades, que tem nessa relação com as empresas privadas um dos mais complexos nós do sistema de C&T (VERONESE, 2006, p.113).

Segundo Dagnino (2007, p.41), se referindo à política de C&T, há algumas décadas atrás; pelas características da economia nacional, pautada inicialmente na exportação de bens primários e na industrialização por meio da substituição das importações, não havia demanda local por C&T, o que justificava a pouca influência das empresas na política de ciência e tecnologia nacional, situação bem diferente do que ocorria nos países avançados. Essa condição, dentre outras, explicava a razão da ciência ser dominante em relação às pesquisas aplicadas no Brasil.

A partir do ano 2000 os investimentos por parte da iniciativa privada começaram a aumentar, chegando a 44% do total investido no ano de 2004 e com estimativa de 50,4% no ano de 2005. A política de C&T começava a alcançar resultados favoráveis quanto à intenção de induzir a maior participação da iniciativa privada, além de conseguir manter o

percentual de investimentos médio de 1,2% ao ano (conforme tabela 15). O valor pode ser considerado abaixo quando comparado com alguns países desenvolvidos, mas muito acima daquilo que era investido na década de 1980.

	2000	2001	2002	2003	2004	2005 ⁽¹⁾
GOVERNO FEDERAL	0,49%	0,48%	0,44%	0,43%	0,45%	0,45%
GOVERNO ESTADUAL	0,24%	0,25%	0,24%	0,22%	0,20%	0,19%
SETOR EMPRESARIAL	0,48%	0,51%	0,55%	0,53%	0,52%	0,64%
TOTAL	1,22%	1,25%	1,23%	1,19%	1,17%	1,27%

Tabela 15 – Percentual do PIB investido em C&T no Brasil (2000 e 2005).

Fonte: MCT, 2008.

1 Estimativa.

O novo milênio marcou uma época importante para a área de C&T no Brasil. Além do volume de recursos investidos, um arcabouço legal começava a ser institucionalizado, a fim de garantir e proporcionar a elevação do financiamento das atividades de fomento. A política foi estruturada por meio da criação do Livro Branco, tendo como objetivo construir uma agenda de consensos entre os vários interlocutores participantes da Conferência Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação. A idéia não era construir um programa de trabalho, considerado exaustivo, levando em conta o prazo das diretrizes contidas no livro, mas definir linhas mestres para o desenvolvimento das atividades de C&T no Brasil. Dentre as várias diretrizes apontadas no livro, vale destacar: a criação dos Fundos Setoriais; a renovação da Lei da Informática; a criação do Centro de Gestão e Estudos Estratégicos; e a reestruturação do crédito por parte da FINEP (MCT, 2002b).

A política de ciência e tecnologia avançou na nova década em diversos sentidos. A estrutura física de C&T cresceu, a legislação foi aprimorada, os recursos humanos disponíveis aumentaram e se especializaram e, principalmente, o montante absoluto investido em C&T tem sido maior que no passado. De forma geral os resultados são favoráveis e os objetivos estão sendo continuados a cada novo instrumento que compõe a política de C&T. A criação da Política Industrial Tecnológica e de Comércio Exterior é um exemplo do prosseguimento de algumas das linhas gerais do Livro Branco, porém, adentrando por temas mais específicos não tratados na época. Dentre os vários objetivos da PITCE está o de estimular as atividades de P&D pelas empresas privadas, ou conforme a própria descrição do governo, aumentar a eficiência econômica e o desenvolvimento e difusão de tecnologias com maior potencial de indução a competitividade internacional, por meio do aumento da eficiência da produção e da capacidade de inovação (BRASIL, 2003c, p.2).

Dentre as áreas focadas pela PITCE estão a de biocombustíveis e energias renováveis. Elas foram consideradas como atividades portadoras de futuro. O objetivo era

estimular essas atividades e outras derivadas do Protocolo de Kyoto em conjunto com as empresas. Apesar da falta de aprofundamento na PITCE quanto a esses temas, a inclusão deles representou um marco, pois essas áreas nunca haviam chegado nesse nível de destaque. Era a primeira vez que a busca por novas alternativas energéticas ligadas aos veículos rodoviários, principalmente, em função do aquecimento global, se tornava parte nevrálgica da política de C&T brasileira.

A superficialidade dos temas tratados na PITCE começou a ganhar melhores traços no Plano de Ação de 2007 a 2010 do Ministério da Ciência e Tecnologia, compondo duas das 21 linhas da ação do plano. Cada tema foi desdobrado em programas, com diretrizes, objetivos, metas e orçamento próprio. O tema dos biocombustíveis foi desdobrado em dois outros programas, o Programa de Desenvolvimento Tecnológico para o Biodiesel e o Programa de C,T&I para o etanol. No tema de energias renováveis foram criados o Programa de C,T&I para a economia do hidrogênio e o Programa de C,T&I para energias renováveis, este com foco maior na produção de energia elétrica.

O fato de inserir programas de fomento a atividades de C&T que cooperarão diretamente para a redução das emissões de poluentes e, em especial, gases de efeito estufa por veículos automotores, representa, sem dúvida, um avanço em direção aos objetivos apresentados na Agenda 21 Brasileira, porém, cabe aqui uma análise dos esforços e empenho nesse sentido, principalmente em termos financeiros. A seguir, na tabela 16, a apresentação da previsão de investimentos nos programas supracitados.

Biodiesel					
Origem	2007	2008	2009	2010	Total
MCT/FNDCT	19,10	22,90	27,40	32,90	102,30
MCT/outras ações PPA	0,70	1,77	1,38	1,42	5,27
Total	19,80	24,67	28,78	34,32	107,57

Etanol					
Origem	2007	2008	2009	2010	Total
MCT/FNDCT*	21,60	53,90	51,10	63,30	189,90
MCT/outras ações PPA		1,50	2,50	3,00	7,00
Total	21,60	27,40	53,60	66,30	196,90

** Inclui recursos para fortalecer e desenvolver a rede de pesquisa básica e aplicada em bioetanol.*

Hidrogênio					
Origem	2007	2008	2009	2010	Total
MCT/FNDCT	5,00	17,70	19,00	20,30	62,00
MCT/outras ações PPA	2,00	2,00	2,00	2,00	8,00
Total	7,00	19,70	21,00	22,30	70,00

Energias Renováveis					
Origem	2007	2008	2009	2010	Total
MCT/FNDCT	3,60	11,20	12,10	13,10	40,00
Total	3,60	11,20	12,10	13,10	40,00

Tabela 16 – Investimentos previstos no Plano de Ação do MCT para cada programa (R\$ milhões).
Fonte: MCT, 2006, p.195, 199, 217 e 221.

Ao total estão previstos R\$ 414,47 milhões para investimentos diretos nessas áreas. Existem outros programas que mencionam investimentos também nessas áreas, porém, o volume exato de recursos não está evidenciado em suas descrições. Esses são mais amplos, abordam temas como infra-estrutura, capacitação e outros, por essa razão não fazem parte do levantamento apresentado. O total investido em programas ligados ao desenvolvimento e produção de energias renováveis representa um volume significativo, porém, em comparação com os investimentos na área de petróleo e gás, são extremamente baixos, conforme tabela 17.

Refino					
Origem	2007	2008	2009	2010	Total
Petrobras	157,00	274,60	204,00	167,90	803,5
Total	157,00	274,60	204,00	167,90	803,5
Exploração					
Origem	2007	2008	2009	2010	Total
MME/Petrobras	98,20	88,60	86,50	89,70	363,00
Total	98,20	88,60	86,50	89,70	363,00
Produção					
Origem	2007	2008	2009	2010	Total
MME/Petrobras	411,60	460,30	470,80	494,30	1.837,00
Total	411,60	460,30	470,80	494,30	1.837,00
Transporte					
Origem	2007	2008	2009	2010	Total
MME/Petrobras	28,10	30,10	25,50	26,80	110,50
Total	28,10	30,10	25,50	26,80	110,50
P&D Gás Natural					
Origem	2007	2008	2009	2010	Total
MME/Petrobras	53,50	58,60	65,30	72,70	250,10
Total	53,50	58,60	65,30	72,70	250,10

Tabela 17 – Investimentos previstos no Plano de Ação do MCT para cada programa da área de petróleo e gás natural (R\$ milhões).
 Fonte: MCT, 2006, p.230, 234, 236, 240 e 242.

Os programas destinados diretamente a área de petróleo e gás natural totalizam aproximadamente R\$ 3,3 bilhões, valor muito superior ao investido na área de biocombustíveis e energias renováveis. A área de ciência e tecnologia está ganhando maior espaço na agenda nacional e quanto a isso não restam dúvidas, assim como as atividades de P&D estão aumentando, tanto pelas empresas privadas como pelas estatais, contudo, os benefícios dessa evolução ainda são pouco percebidos em alguns setores. O transporte rodoviário de cargas e passageiros é um deles que, até o momento, pouco se beneficiou com os progressos científicos e tecnológicos nacionais. As tecnologias dos combustíveis, motores e sistemas de propulsão sofreram pequenos incrementos, sem a absorção de inovações. A prioridade dos investimentos para este setor ainda continua sendo o petróleo, com ênfase a produção dos derivados, especialmente o óleo diesel.

2.2. Programas

Os programas representam a concretização das políticas públicas de um país. São instrumentos preparados para a alocação de recursos destinados a consecução de objetivos, com metas e ações pré-estabelecidas. Os programas são executados para o alcance de objetivos considerados pelo Estado como importantes à manutenção ou ao desenvolvimento nacional. Depois da sucinta apresentação de algumas políticas públicas é salutar analisar os programas, que de alguma forma, expressaram o pensamento e as intenções dos governos, assim como seus impactos diretos ou indiretos sobre o setor de transporte rodoviário, principalmente em relação à redução das emissões de poluentes atmosféricos e gases de efeito estufa.

Em razão da descontinuidade de diversas políticas e programas e do baixo desempenho de alguns deles, somente aqueles considerados mais relevantes serão brevemente analisados, podendo, excepcionalmente alguns outros serem somente citados. Serão considerados na análise todos os programas ligados a qualquer uma das políticas apresentadas anteriormente, que apresentaram ou ainda apresentam resultados e impactos significativos durante seu período de vigência.

2.2.1. Proálcool

No ano de 1973 o mundo viveu o período denominado de primeiro choque do petróleo. O preço médio do barril saltou de pouco mais de dois dólares para aproximadamente doze. O gráfico 45 demonstra a elevação do preço do petróleo em função da guerra entre árabes e israelenses. Era a resposta dos países da Opep, que impuseram um embargo a alguns países do ocidente, dentre eles os Estados Unidos, e reduziram a produção do óleo (HINRICHS, KLEINBACH, 2003, p.18)

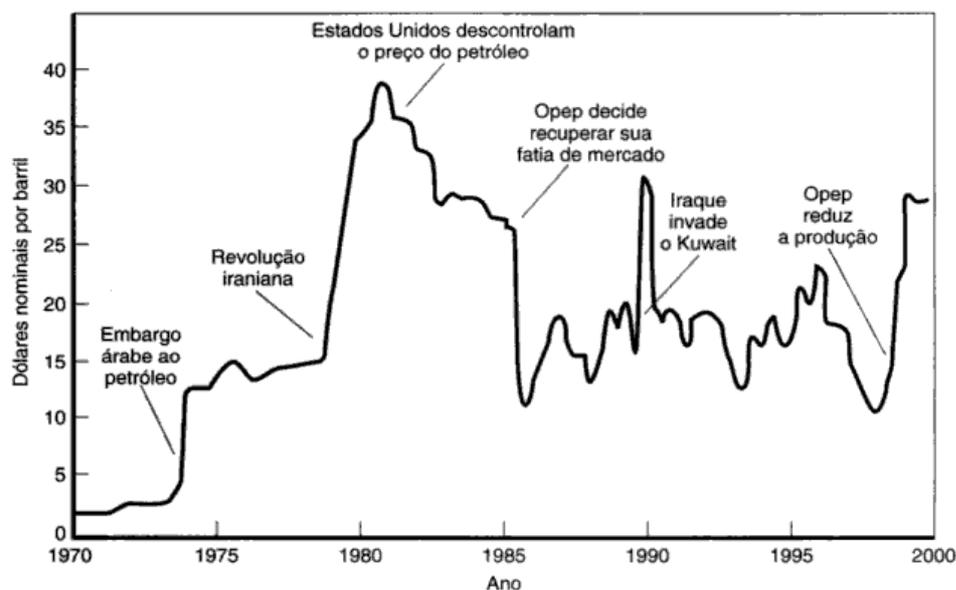


Gráfico 45 – O preço do barril do petróleo e a relação com eventos internacionais (1970 – 2000).
 Fonte: HINRICHS, KLEINBACH, 2003, p.19.

O impacto dessa medida teve alcance mundial. No Brasil a preocupação foi com a questão econômica e a balança comercial. Nesse período a matriz de transportes já se apresentava de forma predominantemente rodoviária, com elevado consumo de diesel e gasolina. No ano de 1973 o Brasil importava 78% de suas necessidades de petróleo, o equivalente a 37,9 milhões de toneladas. O setor de transportes rodoviário utilizava 42% do total consumido dos derivados do petróleo (CORREIA, 2007, p.3).

O Brasil vinha de um processo de crescimento denominado de milagre econômico e o governo pretendia manter os índices apresentados anteriormente, porém, o petróleo representava um problema a ser enfrentado. Segundo Natale Netto (2007, p.192), o gasto com o petróleo, além do custo com a própria importação, incluía taxas de serviços de empréstimos internacionais, contribuindo para o crescimento diário do ônus para o Tesouro. A conta que era de 600 milhões de dólares em 1973 ultrapassava os 4,1 bilhões em 1978, um aumento de 575,4% nas contas, contra uma elevação de consumo no mesmo período de apenas 40,2%. Essa disparidade era uma das conseqüências do aumento do preço do produto no mercado internacional.

A saída pensada mais imediata era reduzir o consumo do óleo sem prejudicar o crescimento. Para isso seria necessário encontrar um substituto para os derivados do petróleo. O álcool combustível na época já estava disponível e era utilizado como aditivo à gasolina, porém funcionava mais como um instrumento econômico para as constantes oscilações do preço do açúcar no mercado internacional. Segundo Souza (1987, p.382), o álcool constituiu o elemento mais original da política energética brasileira para enfrentar a crise por meio da substituição do petróleo por álcool produzido a partir da biomassa.

Dessa forma, em 1975, por meio do Decreto 76.593, o governo criou o Proálcool, com o propósito de estimular a produção do combustível renovável, a partir da cana-de-açúcar e de outros insumos. Dois anos depois da criação do programa, poucas ações foram tomadas, condição esta que motivou a realização de uma Comissão Parlamentar de Inquérito para investigar as causas do atraso do início do programa. Um ano depois de instaurada a CPI, após consultar vários especialistas, emitiram o relatório final, que não provocaria mudanças, mas serviria de alerta ao governo (NATALE NETTO, 2007, p.197).

Entre os anos de 1978 e 1979 ocorreu a revolução iraniana, interrompendo a produção de quase seis milhões de barris por dia naquele país. Apesar dos esforços de outros países para aumentar a produção, houve uma redução no mercado mundial de aproximadamente dois milhões de barris, culminando novamente na alta do preço do petróleo, que praticamente dobrou (HINRICHS, KLEINBACH, 2003, p.19). Esse seria o período denominado de segundo choque do petróleo, perdurando até o ano de 1985, onde por diversas razões, entre elas a redução no consumo, levou novamente a uma redução significativa no preço do barril de petróleo.

Quase cinco anos após a criação do Proálcool poucas coisas haviam acontecido até que o presidente João Batista Figueiredo assumiu o governo em 1979 e teve como uma de suas primeiras atividades a retomada do programa. Segundo Natale Netto (2007, p.201), “coube a ele dar curso e concretizar efetivamente o Programa Nacional do Álcool, planejado e concebido no final do governo Geisel”. A implantação do programa era uma necessidade para a crise que se instituía. O Brasil nesse período estava importando cerca de 86% do petróleo consumido, implicando em endividamento externo e desequilíbrio no balanço de pagamentos (CORREIA, 2007, p.4).

A partir desse momento, de fato, ocorreu o início do Proálcool, fase também conhecida como a segunda etapa do programa. Desse ponto em diante o País conseguiu aumentar a produção de combustível e veículos, com a aplicação de subsídio no preço do combustível, elevação de 42% no preço da gasolina e redução nos preços dos carros a álcool. A produção de veículos a álcool saltou de 0,3% no ano de 1979 para quase 96% no ano de 1985 (tabela 18).

Year	Gasoline cars ^a	Ethanol cars	Ethanol cars (%)
1975	778 920	0	0
1976	808 729	0	0
1977	748 071	0	0
1978	877 295	0	0
1979	905 706	3 114	0.3
1980	626 467	240 638	27.0
1981	344 428	136 241	28.3
1982	365 399	232 575	38.9
1983	78 610	579 328	88.1
1984	33 481	565 536	94.4
1985	28 653	645 551	95.8
1986	61 915	697 050	91.8
1987	31 190	458 683	93.6
1988	77 312	566 482	88.0
1989	260 821	397 734	60.4
1990	542 740	81 650	13.1
1991	526 479	148 494	22.0
1992	476 351	194 566	29.0
1993	786 421	264 235	25.1
1994	1 134 570	141 870	11.1
1995	1 556 000	40 709	2.5
1996	1 585 000	12 000	0.8

Tabela 18 – Venda de veículos a gasolina e álcool no Brasil entre 1975 e 1996.
 Fonte: ROSILLO-CALLE; CORTE, 1998, p.116.

O crescimento da indústria do álcool se manteve até o ano de 1985 quando começou um processo de encolhimento do programa e redução do mercado consumidor. A queda foi motivada principalmente pela Opep, que nesse mesmo ano resolveu retomar o mercado perdido, triplicando sua produção e reduzindo o preço do barril do petróleo (HINRICHS, KLEINBACH, 2003, p.19). Paralelamente a redução no valor barril havia uma tendência na elevação do preço do açúcar no mercado internacional, tornando a produção extremamente atrativa (NATALE NETTO, 2007, p.247). A junção desses dois fatores foi suficiente para enfraquecer o programa e cooperar para um processo de declínio que o conduziria praticamente a extinção.

Com o baixo preço do barril do petróleo e aumento da extração pela Petrobrás, os derivados voltaram a ser o principal combustível. A produção de álcool foi estabilizada, com intuito de manter a grande frota de carros movidos pelo combustível, e a venda de veículos a gasolina foi retomada, até praticamente a extinção da produção dos carros a álcool em 1996. O álcool, apesar de não ser tão competitivo, como na década de 1980, não deixou de ser produzido, mas o volume estava declinante, até que em 2003, com o lançamento dos carros com a tecnologia *flex*, a produção do combustível voltou a crescer e ganhou destaque, objeto de uma campanha para se tornar uma *commodity*.

Apesar de todo o histórico do álcool no Brasil, com os períodos de pico e a retomada do uso do combustível recentemente, o setor de transporte rodoviário de cargas e passageiros, por ônibus e caminhões, não foi afetado. A produção de veículos movidos a

álcool foi pouco significativa e rapidamente descontinuada. Desde a consolidação da frota por veículos a diesel o setor manteve-se, praticamente, sem modificações.

2.2.2. Programa do Biodiesel

O Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel – PNPB – é considerado o programa de promoção do biodiesel no Brasil. Sua criação foi em 2004, mas ele somente se consolidou a partir da inserção oficial do biodiesel na matriz energética em janeiro de 2005, por meio da Lei nº. 11.097. A lei instituiu a inserção do biocombustível na matriz energética e definiu os percentuais obrigatórios de mistura ao diesel convencional e os respectivos prazos. Antes de promulgada a lei dois outros decretos foram publicados. Um deles foi para a criação do Grupo de Trabalho Interministerial, responsável pelos estudos iniciais de avaliação da viabilidade do uso do combustível, e o outro para a criação da Comissão Executiva Interministerial, encarregada da implantação das ações necessárias à produção e uso do biodiesel.

O Grupo de Trabalho Interministerial era na época composto por representantes da Casa Civil, Ministério dos Transportes, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, Ministério de Minas e Energia, Ministério da Fazenda, Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, Ministério da Ciência e Tecnologia, Ministério do Meio Ambiente, Ministério do Desenvolvimento Agrário, Ministério da Integração Nacional e do Ministério das Cidades. A primeira atribuição do grupo foi a desenvolver estudos quanto à viabilidade do combustível.

Aproximadamente seis meses depois de instituído o grupo, o relatório final foi finalizado, contendo a análise da introdução do biocombustível na matriz energética nacional. Dentre os diversos pontos positivos de sua utilização estava a promoção da inclusão social, pela geração de emprego e renda, a redução dos volumes de importação de diesel convencional, o aproveitamento de nichos de mercado, o adensamento de cadeias do agronegócio e a redução dos impactos ambientais, com significativa redução das emissões de diversos poluentes, como o monóxido de carbono, hidrocarbonetos totais, material particulado, enxofre e gases causadores do efeito estufa (GRUPO DE TRABALHO INTERMINISTERIAL, 2003, p.6 e 7).

Finalizados os estudos o governo instituiu a Comissão Executiva Interministerial para cuidar da execução das ações previstas no Relatório do Grupo de Trabalho Interministerial. A comissão era coordenada pela Casa Civil e composta por representantes do Ministério do Desenvolvimento Social e Combate à Fome; Ministério da Fazenda; Ministério dos Transportes; Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento; Ministério do Trabalho e Emprego; Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior; Ministério de Minas

e Energia; Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão; Ministério da Ciência e Tecnologia; Ministério do Meio Ambiente; Ministério do Desenvolvimento Agrário; Ministério da Integração Nacional; e Ministério das Cidades.

A comissão ficou responsável em criar um grupo gestor, responsável pela gestão operacional e administrativa das ações previstas no programa. O Grupo Gestor seria coordenado pelo Ministério de Minas e Energia e composto por membros da Casa Civil da Presidência da República; Ministério da Ciência e Tecnologia; Ministério do Desenvolvimento Agrário; Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior; Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão; Ministério da Fazenda; Ministério do Meio Ambiente; Ministério da Integração Nacional; Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento; Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social - BNDES; Agência Nacional do Petróleo - ANP; Petróleo Brasileiro S.A. – Petrobras; e a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa.

Em 31 de março de 2004 a Comissão Executiva Interministerial aprovou um plano de trabalho, com o papel de nortear as ações do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel. As ações permitiram a estruturação do programa ao longo do ano de 2004, culminando em seu lançamento oficial pelo Presidente da República em 6 de dezembro de 2004. Na mesma ocasião foi determinado o estabelecimento de condições legais para a introdução do biodiesel na Matriz Energética Brasileira de combustíveis. Como resultado, em 13 de janeiro de 2005, publicaram a lei que dispunha sobre a introdução do biodiesel na matriz nacional.

O programa foi instituído com diretrizes para a implantação de ações sustentáveis, promoção da inclusão social, garantia de preços competitivos, produção de óleo com qualidade e a produção diversificada de oleaginosas em diversas regiões do País. A intenção do governo era de produzir e comercializar um combustível menos poluente e capaz de resolver alguns dos problemas relacionados à agricultura familiar e a qualidade de vida das famílias do campo. Dentre seus objetivos estavam “a implementação de forma sustentável, tanto técnica, como economicamente, a produção e uso do Biodiesel, com enfoque na inclusão social e no desenvolvimento regional, via geração de emprego e renda” (BRASIL, 2008e).

Depois de implementado, em razão de sua natureza e estrutura, algumas recomendações foram realizadas, principalmente quanto à atividade de gestão e a garantia de recursos financeiros. Alguns analistas do Ministério de Minas e Energia consideraram que a “unificação das ações do biodiesel em um programa do PPA daria maior visibilidade a essa iniciativa do governo, além de especificar um gerente para tal programa e facilitar a identificação dos coordenadores das diversas ações” (MPOG, 2006, p.16). A inserção no PPA facilitaria a gestão e traria diversos outros benefícios, como o provável aumento de

recursos e a possibilidade de melhor acompanhamento. Ainda segundo estes analistas, “a inclusão do programa no PPA permitiria um melhor acompanhamento pelos órgãos de controle e fiscalização, além de contribuir para a disseminação e divulgação dos resultados alcançados” (MPOG, 2006, p.16), algo ainda pouco divulgado.

O PNPB hoje é um programa de caráter público, direcionado pelo governo, mas sem dotação orçamentária própria. Algumas iniciativas são promovidas pela iniciativa privada e outras por intermédio de outros programas públicos. Pode-se considerá-lo como um programa privado, quanto a seu financiamento, e público, quanto aos interesses dos envolvidos. Representa o principal instrumento do governo para a articulação entre os atores envolvidos na produção, distribuição e comercialização do biodiesel. Apesar de apresentado em 2004, esse é o primeiro ano em que o programa precisa garantir o fornecimento de combustível, conforme o percentual de mistura estabelecido por lei.

O programa ainda pode ser considerado como novo, tendo apresentado resultados favoráveis quanto a alguns de seus objetivos gerais, porém, seus impactos reais ainda são tímidos. Para a mistura de 2% de biodiesel ao diesel convencional, a expectativa era de que contribuiria para uma economia anual de mais de R\$ 27 milhões em despesas de diversas naturezas, principalmente relacionadas à saúde (GRUPO DE TRABALHO INTERMINISTERIAL, 2003, p.12) e outros impactos, como os sociais, principalmente relacionados ao desenvolvimento de pequenos agricultores e em toda a cadeia da produção do biocombustível.

Em busca de melhores resultados, como o aumento da geração de emprego e renda, desenvolvimento industrial, redução da importação de diesel e outros, o Conselho Nacional de Política Energética – CNPE estabeleceu por meio da Resolução nº. 2, de 13 de março de 2008, o percentual mínimo obrigatório de 3% de mistura de biodiesel ao diesel convencional, a vigorar a partir de primeiro de julho de 2008 (CNPE, 2008). Se mantido o volume de produção de biodiesel dos quatro primeiros meses do ano, algo em torno de 275 milhões de litros, o alcance da meta poderá ser comprometido, entretanto, a expectativa é de que o País consiga produzir os 1,2 bilhões de litros necessários ao alcance da meta de 3%. Quanto ao próximo limite mínimo obrigatório de 5%, o potencial de substituição até 2013 ainda é um ponto de grande discussão, com posições divergentes, que somente poderão ser aceitas ou refutadas em algum momento no futuro.

2.2.3. PROCONVE

O Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores – PROCONVE – foi instituído em 1986 pelo CONAMA com os seguintes objetivos: reduzir os níveis de emissão de poluentes por veículos automotores, em especial nos centros urbanos;

promover o desenvolvimento tecnológico nacional quanto aos métodos de medição das emissões; criar outros programas para inspeção e manutenção de veículos em uso; conscientizar a população quanto à poluição automotiva; estabelecer condições de avaliar o programa; e promover a melhoria dos combustíveis, a fim de reduzir as emissões veiculares (CONAMA, 1986).

Sua criação foi o resultado de um movimento mundial para o estabelecimento de limites para as emissões veiculares. O programa se baseou no modelo norte-americano de regulamentação das emissões veiculares, originário do programa *Clean Air Act*. (LIMA, 2006, p.14). Em virtude de sua amplitude, envolveu e ainda envolve a participação de diversas instituições como o MMA, IBAMA, ANP, INMETRO, CETESB, DENATRAN, ANFAVEA, PETROBRAS e diversas outras. Trata-se de um instrumento de forte articulação institucional em razão de sua complexidade e alcance.

A implantação do programa foi dividida em diversas fases, sob a forma de um sistema de redução contínua dos níveis de emissões. O objetivo inicial era de no longo prazo para reduzir de forma significativa o volume de gases e poluentes atmosféricos. Depois de publicada a resolução inicial do CONAMA para a criação do PROCONVE, diversas outras foram realizadas para a definição de novos limites de emissões. Tratava-se de complementos e atualizações ao programa. Dentre as várias resoluções, em função do objetivo central do trabalho, cabe aqui destaque para aquelas relacionadas ao controle das emissões por veículos pesados a diesel.

A primeira resolução foi a de nº. 8, de agosto de 1993, definindo limites de emissões para os veículos pesados. Ela tratava de veículos ciclo Diesel e Otto e estabelecia os limites apresentados na tabela 19, demonstrada a seguir. Logo a seguir, em complemento a resolução anterior, foi publicada a Resolução nº. 16 em dezembro de 1995, dispondo sobre “os limites máximos de emissão de poluentes para os motores destinados a veículos pesados novos, nacionais e importados, e determina a homologação e certificação de veículos novos do ciclo Diesel quanto ao índice de fumaça em aceleração livre” (CONAMA, 1995).

	CO (g/kWh)	HC (g/kWh)	NO _x (g/kWh)	Fumaça (k) (1)	Partículas (g/kWh) (1)
Fase I	-	-	-	2,5	-
Fase II	11,2	2,45	14,4	2,5	-
Fase III	4,9	1,23	9,0	2,5	0,7/0,4 (2)
Fase IV	4,0	1,1	7,0	-	0,15

(1) Aplicável somente para motores de ciclo Diesel

(2) 0,7 g/kWh, para motores até 85 kW e 0,4 g/kWh para motores com mais de 85 kW.

Tabela 19 – Limites de emissões para veículos pesados ciclo Diesel e Otto.
Fonte: CONAMA, 1993.

Em paralelo ao controle realizado para os veículos novos, no ano de 1993, o CONAMA deu início ao que chamou de Programa de Inspeção e Manutenção de Veículos em Uso – I/M. O programa representou o desdobramento de um dos grandes objetivos do PROCONVE, que previu a criação de programas para a inspeção e manutenção de veículos. O programa e suas diretrizes foram instituídos pela Resolução nº. 7, de agosto de 1993. Dois anos depois o CONAMA, por meio da Resolução nº. 18 de 13 de dezembro, vinculou a implantação do programa de I/M à elaboração do Plano de Controle da Poluição por Veículos em Uso, contendo as especificações técnicas e maiores detalhes para a efetivação de programas de inspeção.

Passados dois anos, por questões operacionais e uma série de limitações, o CONAMA alterou alguns trechos da Resolução nº. 7 por meio da publicação da Resolução nº. 227, de 1997, priorizando a implantação de programas de I/M em regiões que apresentassem comprometimento da qualidade do ar devido às emissões de poluentes pela frota de veículos, a critério de definição pelos órgãos ambientais estaduais e municipais. Diante da possibilidade da criação de Planos de Controle da Poluição por Veículos em Uso, novas resoluções foram publicadas no ano de 1999. A Resolução nº. 256 de junho de 1999 definiu os responsáveis pela execução dos programas de I/M e a nº. 251, do mesmo ano, os limites de opacidade da emissão de veículos a diesel inspecionados em programas também de I/M.

No Brasil algumas cidades implantaram programas de inspeção. O objetivo era reduzir a emissão de alguns poluentes. No caso dos veículos pesados, o foco era a redução de material particulado, que podia chegar a até 25%²⁴. Os testes de emissões de veículos a diesel basicamente se restringem a utilização do opacímetro, que identifica a densidade da fumaça emitida pelo escapamento do veículo. Esses testes estão ficando obsoletos pelo fato dos veículos emitirem menos fumaça visível, assim a opacidade deixa de ser uma característica determinante do nível de emissões, que estão sendo focadas nas partículas ultrafinas (LIMA, 2001, p.10).

As emissões de programas de I/M foram extremamente importantes no passado ou em países ou regiões com grande concentração de veículos com maior idade de uso. Os veículos mais novos, por diversas razões, emitem menos que os mais antigos e, provavelmente são mais estáveis (LIMA, 2006, p.11), ou seja, o problema da elevação do volume de emissões ao longo do tempo, que é exatamente o foco dos programas de I/M, deixa de existir, pois as variações são pouco consideráveis.

O crescente volume nas vendas de novos veículos pesados para o transporte de cargas e passageiros colabora para a formação de uma frota mais nova, menos vulnerável

²⁴ Esse percentual foi baseado em programas da União Européia de I/M, onde pode ter ocorrido uma superestimação devido ao fato da amostra ter sido focada em veículos com altos valores de emissão.

as oscilações no volume de emissões do que aquelas apresentadas nos veículos mais antigos. Sob determinados aspectos de controle da poluição, esse fato é extremamente favorável, porém, se o crescimento for proporcionalmente maior que a capacidade de reduzir os índices de emissões, estará configurado um novo problema a ser resolvido.

Essa percepção é compartilhada pelos gestores do PROCONVE que estão buscando alternativas para a redução das emissões dos veículos pesados movidos a diesel. Uma delas é a continuidade da redução dos limites máximos de emissões, como aqueles estabelecidos no ano de 2002, com a publicação da Resolução CONAMA nº. 315, dando seguimento ao programa, com as etapas V e VI a serem cumpridas em 1º de janeiro de 2006 e 1º de janeiro de 2009, respectivamente. Os limites foram estabelecidos para os novos veículos pesados a diesel produzidos no Brasil ou importados, destinados para consumo no mercado interno. A tabela 20, apresentada a seguir, demonstra os novos limites e os prazos para a implantação da resolução.

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 1/jan/2006 (PROCONVE P-5)	2,1	0,66	5,0	0,10 ou 0,13 ⁽¹⁾	0,8
Linha 2 - A partir de 1/jan/2009 (PROCONVE P-6)	1,5	0,46	3,5	0,02	0,5

(1) Para motores de cilindrada unitária inferior a 0,75 dm³ e rotação à potência nominal superior a 3000 min⁻¹.

Tabela 20 – Limites de emissões para novos veículos pesados a diesel a serem comercializados no Brasil. Fonte: CONAMA, 2002.

Segundo o relatório de avaliação dos vinte anos do PROCONVE, o óleo diesel utilizado nos veículos pesados de cargas e passageiros é um combustível extremamente poluente, responsável pela emissão, principalmente, de material particulado e óxido de nitrogênio. As emissões poderiam ser minimizadas com a instalação de filtros e catalisadores, entretanto, o volume de enxofre contido no diesel comercializado no Brasil pode danificar esses sistemas (LIMA, 2006, p.14). Esse é um ponto de extrema relevância que precisa ser resolvido, pois impede o avanço do PROCONVE, em especial, das novas etapas previstas na resolução nº. 315.

2.2.4. CONPET

O Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural, CONPET, é um programa do Ministério de Minas e Energia, criado em 18 de julho de 1991, com o objetivo de “integrar as ações que visem a racionalização no uso dos derivados de petróleo e do gás natural, em consonância com as diretrizes do Programa Nacional de Racionalização da Produção e do Uso da Energia” (BRASIL, 1991). O programa é gerido por um grupo coordenador, formado por representantes da Petrobrás, Departamento Nacional de Combustíveis, Secretaria Nacional de Transportes, Secretaria de Ciência e Tecnologia, Confederação Nacional da Indústria, Confederação Nacional do Transporte e outros.

O programa tem várias linhas de ações e projetos, como o Economizar, o Transportar, o Prêmio Nacional e diversos outros. O programa por meio de suas ações tem apresentado resultados positivos na redução do consumo e emissões. Somente o programa Economizar evitou a emissão de 700 mil toneladas de CO₂ no período de um ano, conforme apresentado na tabela 21, a seguir.

<i>Nota: dados consolidados até o ano de 2005</i>	
Estados da Federação	21
Entidades (15 de passageiros, 13 de cargas e 5 mistas)	33
Unidades móveis	48
Empresas participantes	1.750
Frota	98.000
Avaliações realizadas	120.000
Combustível total economizado (l/ano)	252.000.000
CO ₂ não-emitido para a atmosfera (t/ano)	700.000
Particulados não-emitidos para a atmosfera (t/ano)	19.000

Tabela 21 – Resultados do Programa Economizar (1996 a 2005).
Fonte: CONPET, 2008a.

Outra linha de atuação do programa é o Projeto Transportar, criado com o objetivo de reduzir o consumo de óleo diesel e as emissões dos veículos utilizados no transporte de combustíveis fornecidos pela Petrobrás. O projeto desde sua criação reduziu o consumo de aproximadamente 17 milhões de litros de óleo diesel²⁵ e mais de 45 mil toneladas a cada ano, conforme a tabela 22.

²⁵ Valores estimados por ano.

Números do Projeto Transportar	
Tempo de operação	5 anos
Avaliações	7.189
Empresas Participantes	400
Avaliações dentro dos padrões de opacidade	4.885
Avaliações fora dos padrões de opacidade	2.303
Diesel economizado (l/ano) estimado	17.000.000
CO2 não emitido (t/ano)	45.500
Particulados não emitidos (t/ano)	1020

Tabela 22 – Resultados do Projeto Transportar até março de 2008.
Fonte: CONPET, 2008b.

Além da economia de diesel e conseqüente redução das emissões, o programa tem outras linhas como o projeto para utilização de ônibus a gás. Trata-se de uma iniciativa ainda em fase experimental, com resultados pouco significativos, focada na avaliação de desempenho do uso de gás natural em ônibus com motor ciclo Otto. O objetivo é estimular o uso do combustível na frota urbana de ônibus.

Existem outras linhas de atuação, mas para o presente trabalho, o interesse se restringe às ações relacionadas com a emissão de poluentes provenientes do transporte rodoviário. Nessa segmento o programa conseguiu promover a queda no consumo de combustíveis e conseqüente redução nas emissões, conforme os dados apresentados no site do programa. A falta de maiores informações, como metas e indicadores não permite avaliar se os resultados estão aquém ou além do previsto. Pode-se concluir que seus impactos são positivos, não suficientes para resolver a questão das emissões, mas um instrumento auxiliador.

2.2.5. Outros programas e ações

Muitos outros programas foram idealizados pelo governo e por organizações privadas com o intuito de desenvolver novos combustíveis em substituição aos derivados do petróleo, em especial o óleo diesel, assim como tecnologias capazes de reduzir os impactos sobre o meio ambiente em função do uso desse combustível. Além dos programas abordados anteriormente em tópicos específicos, cabe aqui destaque ao Programa Nacional de Energia de Óleos Vegetais – Oveg, Programa de Produção de Óleos Vegetais para Fins Energéticos – Proóleo, Programa Brasileiro de Desenvolvimento Tecnológico do Biodiesel – Probiodiesel, Programa Tecnológico do Óleo Diesel – Prodiesel e alguns outros.

Esses programas não obtiveram o destaque nem o impacto dos apresentados separadamente. A maioria deles foi abandonada durante o percurso, principalmente pela falta de recursos financeiros e outros ainda estão em sua fase inicial. O Proóleo foi criado

por meio da resolução nº. 7 do Conselho Nacional de Energia no ano de 1980, seguido pelo OVEG, criado no ano de 1983. Ambos tinham como objetivo o desenvolvimento de tecnologia e ações necessárias para substituir parte do diesel consumido no País por óleos vegetais. O percentual de substituição era de até 30% do volume de diesel. Com a queda no preço do petróleo a viabilidade econômica passou a ser questionada, pois a proporção do preço do litro do petróleo para o óleo vegetal, baseado em preços do ano de 1980, era de 3,30 para o óleo de dendê, 3,54 para o óleo de girassol, 3,85 para o óleo de soja e 4,54 para o óleo de amendoim (SANTOS; MATAI, 2008, p.1).

Por meio da Portaria nº. 702, de 30 de outubro de 2002 o Ministério da Ciência e Tecnologia instituiu o Probiodiesel, programa com características semelhantes ao OVEG, porém, focado na utilização do biodiesel. O objetivo era promover o desenvolvimento científico e tecnológico do combustível vegetal. O programa representava um avanço em relação ao OVEG, sob o aspecto tecnológico, mas semelhante quanto ao propósito de fornecer uma alternativa energética para o óleo diesel. Em razão de outros aspectos, além dos tecnológicos, perdeu força e alguns anos depois foi substituído pelo Prodiesel – Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel.

O Prodiesel foi criado pela Petrobrás com o propósito de aprimorar a qualidade do diesel produzido pela empresa, resultando na redução da emissão de poluentes atmosféricos. Devido à natureza restrita do programa, a quantidade de informações é extremamente limitada. Cabe aqui ressaltar que este programa não tem relação com o produto chamado de prodiesel, denominação concedida na época para o produto desenvolvido pelo professor Exedito Parente.

Na área de combustíveis alternativos, cabe citar o Programa Brasileiro de Sistemas de Células a Combustível – Procac, instituído pela Portaria nº. 731 de 14 de novembro de 2002. No ano de 2005 o programa passou a ter a denominação de Programa de Ciência e Tecnologia e Inovação para a Economia do Hidrogênio – ProH2. Por ser este um programa recente, com parte das pesquisas ainda sendo realizadas pelo País e ainda com poucos resultados diretos, porém, considerado extremamente promissor, algumas pesquisas com hidrogênio ligadas à área de transportes serão abordados no capítulo seguinte.

Além da área de combustíveis o Brasil instituiu outros programas para o controle da poluição, como o PRONAR. O Programa Nacional de Controle da Poluição do Ar foi criado por meio da Resolução nº. 5 do CONAMA de 15 de julho de 1989, com vários objetivos, dentre eles o monitoramento da qualidade do ar e a definição de limites para as diversas fontes de emissões. Fora suas próprias ações, ele contava com vários outros programas para o alcance dos objetivos estabelecidos, como o PROCONVE e o Programa Nacional de Inventário de Fontes Poluidoras do Ar.

Diversas outras ações foram idealizadas e algumas executadas com o propósito de reduzir as emissões e implantar o uso de alternativas energéticas ao óleo diesel, porém, sem o êxito esperado. No ano de 1987 o Ministério de Minas e Energia instituiu o Plano Nacional de Gás Natural – PLANGAS, com o propósito de substituir o óleo diesel pelo gás natural na frota de ônibus utilizados no transporte coletivo, contudo, em razão de fatores políticos e econômicos o plano não avançou (RIBEIRO, 2001, p.20).

Não faltaram iniciativas no Brasil para reduzir as emissões dos veículos a diesel, seja por meio da substituição do óleo diesel por outro combustível alternativo ou por meio de tecnologias para reduzir a quantidade de poluentes lançados no ar. Essas tecnologias de certa forma avançaram, contudo, o País ainda está muito além dos índices de emissões de outras regiões do mundo como, por exemplo, da Europa. Quanto ao uso de combustíveis alternativos menos poluentes, os avanços foram menos significativos, considerando que a frota de ônibus e caminhões continua sendo quase que totalmente movida a partir do óleo diesel.

A análise do processo histórico das políticas, programas e seus desdobramentos para o desenvolvimento de alternativas destinadas a redução das emissões de ônibus e caminhões evidencia que Brasil conseguiu obter êxito em algumas de suas iniciativas. Programas como o Proconve e o Proálcool são exemplos de ações bem sucedidas para a introdução de novos combustíveis e a redução das emissões. Apesar dos resultados positivos, o levantamento histórico demonstra que as ações do governo foram tomadas considerando cenários para o curto e médio prazo e orientadas à solução de problemas factuais.

Superados os momentos mais críticos como, por exemplo, com a redução no preço do barril do petróleo ou nos níveis de concentração de poluentes atmosféricos em centros urbanos, como São Paulo, as políticas ganham novos rumos e os programas perdem força, por vezes até são extintos. A descontinuidade institucional, em aspecto mais amplo, certamente tem forte relação com a introdução de tecnologias menos poluentes para ônibus e caminhões no Brasil. O uso dessas tecnologias depende de ações contínuas e realizadas por anos, além do estímulo do Estado para que aconteçam. Oscilações e descontinuidades afetam diretamente na implantação e utilização delas, conforme observado neste capítulo.

Apesar dos percalços, o país continua realizando pesquisas, inclusive dispondo de diversas tecnologias aptas a substituírem parte do consumo do óleo, entretanto, nenhuma ainda utilizada em larga escala. Por essa razão, cabe identificar o atual estágio de desenvolvimento nacional, com tecnologias prontas e em desenvolvimento, e compará-lo ao mundial, para concluir se existe um déficit tecnológico ou são outros fatores os responsáveis pelo retardo em seu uso.

3. TECNOLOGIAS NO MUNDO E NO BRASIL

O desenvolvimento de alternativas energéticas em substituição ao diesel ou de tecnologias capazes de reduzir as emissões são questões de interesse mundial. O fato do petróleo acabar ou ser insuficiente para atender a demanda sem antes desenvolverem substitutos representa um ponto de grande preocupação, haja vista que poderá contribuir para um colapso global. Por outro lado, aos mais otimistas quanto às reservas de petróleo, ainda que outras novas sejam descobertas, o problema recairá sobre o meio ambiente, em especial devido à questão do aquecimento global, e sobre a saúde humana. Mantida a tendência de esgotamento ou de novas descobertas, o desenvolvimento de tecnologias que auxiliem na redução das emissões ou no desenvolvimento de novas fontes energéticas é um ponto de consenso mundial.

Nesse sentido os países estão em busca do desenvolvimento e comercialização de tecnologias capazes de evitar ou ao menos reduzir os impactos do consumo do petróleo e, principalmente, de derivados como o óleo diesel. Sendo esse combustível a base do setor de transporte rodoviário em todo o mundo, existe certa preocupação quanto ao seu uso. No Brasil essa situação não é diferente. Apesar do índice de emissões do segmento estar abaixo de outros países, como os Estados Unidos e a China, o rápido crescimento da frota de nacional de veículos rodoviários de transporte de cargas e passageiros vem se tornando um fator preocupante.

A quantidade de ônibus e caminhões está aumentando rapidamente no País, porém, diferente dos carros que nos últimos cinquenta anos avançaram de forma significativa quanto ao uso de tecnologias menos poluentes, como novos combustíveis e motores mais eficientes, os veículos pesados vêm apresentando poucas transformações ao longo dos anos. Quase que a totalidade dos caminhões e ônibus em uso no Brasil funciona com motores movidos a diesel, responsáveis pelo lançamento de quantidades elevadas de poluentes atmosféricos na atmosfera.

O óleo quando utilizado como combustível no transporte rodoviário produz uma série de gases e materiais extremamente danosos ao meio ambiente e a saúde humana. O resultado do uso de veículos a diesel costuma ser a emissão de dióxido de carbono (CO), hidrocarbonetos (HC), óxido de nitrogênio (NO_x), material particulado (MP), dióxido de enxofre (SO₂) e dióxido de carbono (CO₂), componentes que podem provocar chuvas ácidas e uma série de doenças, inclusive levando à morte. Os poluentes provenientes da utilização do combustível são responsáveis pelo aumento dos casos de crise de asma, doenças pulmonares e cardíacas e até o câncer. Somente nos Estados Unidos as emissões de

veículos a diesel foram relacionadas a mais de 125.000 casos de câncer (KASSEL; BAILEY, 2004, p.2).

Esses e diversos outros problemas decorrentes da aplicação do combustível têm demandado a realização de pesquisas e o desenvolvimento de tecnologias para minimizarem os impactos dos veículos rodoviários. Identificar as tecnologias em fase final de desenvolvimento e aquelas prontas para comercialização, produzidas no Brasil e em outros países, capazes de reduzir as emissões de poluentes atmosféricos de ônibus e caminhões é o objetivo principal desse capítulo.

O levantamento buscou identificar as tecnologias produzidas por instituições de pesquisa públicas ou privadas, por fabricantes de motores e veículos, combustíveis ou empresas de qualquer outra natureza envolvidas nesse processo. As tecnologias, que de alguma forma, podem ser relacionadas à redução de forma indireta da emissão de poluentes, como por exemplo, em decorrência da economia de combustíveis, como os desenvolvimentos aerodinâmicos, as tecnologias de redução de atritos de pneus e outras de mesma natureza não farão parte do presente trabalho.

3.1. Tecnologias em outros países

Existe uma busca mundial por alternativas energéticas e tecnologias capazes de reduzir as emissões do transporte rodoviário. A preocupação aumenta quando se trata de regiões com grandes frotas de veículos, em especial de ônibus e caminhões. Países com essas características reconhecem a necessidade de desenvolver e implementar o uso de alternativas que permitam minimizar os impactos do uso do óleo diesel, até mesmo com combustíveis que possam substituí-lo. Essas tecnologias basicamente se dividem em três grupos: as relacionadas à manutenção do uso do óleo diesel e os atuais motores; outras voltadas ao desenvolvimento de novos combustíveis para os atuais motores; por fim, aquelas que implicam em mudanças nos atuais motores e nos combustíveis.

A seguir serão apresentadas as tecnologias disponíveis em outros países, sejam elas no estágio final de desenvolvimento ou em uso, independente de estarem em fase de testes ou inseridas no mercado. O objetivo é mostrar as alternativas capazes de reduzir as emissões de ônibus e caminhões a diesel, seja por meio da substituição do combustível ou de todo o sistema de propulsão.

3.1.1. Diesel de cana-de-açúcar

O diesel de cana-de-açúcar é um combustível produzido diretamente a partir da planta. Não se trata de mistura nem de biodiesel. Esse novo diesel foi desenvolvido pela

empresa americana de biotecnologia Amyris. A escolha pela cana ocorre pelo fato da planta fornece o açúcar necessário ao processo de fermentação das leveduras, as mesmas utilizadas para produzir álcool, a *Saccharomyces Cerevisiae*, porém, modificadas geneticamente. O resultado do processo fermentativo ao invés de ser o álcool é o farneceno, composto com as propriedades essenciais do diesel, que pode ser usado diretamente como combustível.

Será implantado um projeto piloto no interior de São Paulo em 2010 para a produção desse tipo de combustível. A empresa começou as pesquisas nos Estados Unidos, mas pretende terminá-las no Brasil, por isso fechou parceria com Votorantim e montou um laboratório para pesquisas junto à usina que produzirá o combustível. Segundo a empresa, a escolha se dá pelo fato do Brasil produzir a matéria-prima mais barata. O custo estimado do barril do combustível será de aproximadamente US\$ 60 (ESCOBAR, 2008).

A empresa pretende iniciar a comercialização do produto a partir de 2012. Segundo a própria Amyris (2008), o produto pode operar em baixas temperaturas, não entope os filtros dos veículos, pode ser estocado por longos períodos sem deteriorar e acima de tudo, emite menos poluentes atmosféricos, como o CO₂, que o óleo convencional. Apesar dos benefícios apresentados, as informações a respeito do combustível ainda são superficiais, principalmente em relação aos experimentos e as características técnicas, por essa razão ainda é cedo para qualquer tipo de afirmação. Em sua patente (UNITED STATES PATENT OFFICE, 2008, p.2) os inventores afirmam que o produto pode ser usado como combustível ou derivado, contendo componentes semelhantes ao diesel, gasolina e querosene, porém, somente os experimentos com o combustível determinarão sua capacidade de uso nos atuais motores.

3.1.2. Diesel com ultra baixo nível de enxofre

A primeira mudança possível para promover a queda das emissões é a melhoria da qualidade do óleo diesel utilizado nos ônibus e caminhões. Essa alteração consiste basicamente na diminuição do nível de enxofre contido no combustível. A redução do volume de enxofre contido no diesel, por si só, é capaz de minimizar a emissão de MP, SO₂, SO₃ (trióxido de enxofre) e H₂SO₄ (vapor de ácido sulfúrico), assim como, contribuir para a menor formação de partículas ultrafinas (BLUMBERG; WALSH; PERA, 2003, p.17), material extremamente danoso à saúde do homem.

Na busca de estimular a elevação da qualidade do combustível, países da União Européia, Estados Unidos, Japão e outros estão adotando legislações com baixos padrões de emissões de poluentes atmosféricos para veículos pesados, como ônibus e caminhões. O gráfico 46 mostra alguns limites de poluentes, como material particulado e óxido de

nitrogênio, estabelecido na legislação americana, japonesa e da União Européia. O caminho mais rápido encontrado para se adequar à legislação foi reduzir o nível de enxofre contido no óleo diesel utilizado por veículos pesados.

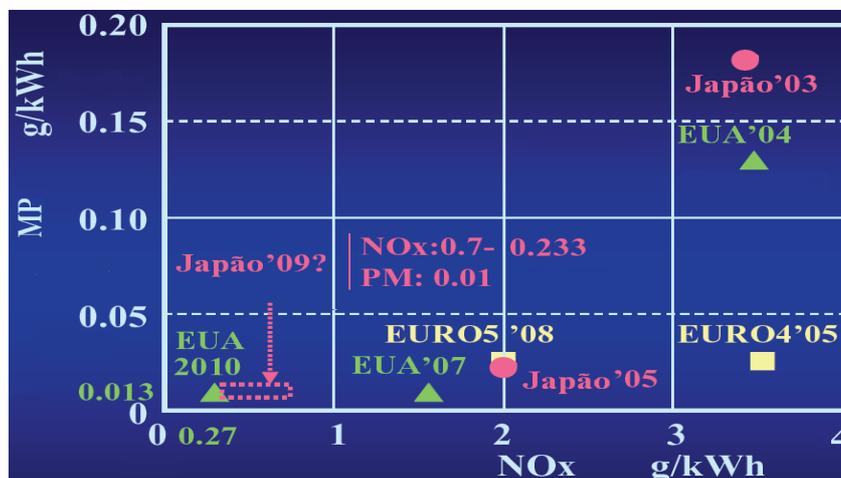


Gráfico 46 – Limites legais de emissões de NOx e MP para veículos pesados. Fonte: Adaptado de DAISHO, 2005, p.6.

Para atender aos limites legais as empresas de produção de combustível começaram a produzir um óleo com baixo percentual de enxofre. Esse tipo de diesel tem concentrações de enxofre abaixo de 15 ppm²⁶. O gráfico 47 apresenta o teor do composto em alguns países e a evolução desse nível ao longo dos anos, inclusive do Brasil, com as variações entre o diesel urbano e o interior, sistema adotado no País para diferenciar o combustível utilizado nos grandes centros urbanos e nas demais cidades do interior.

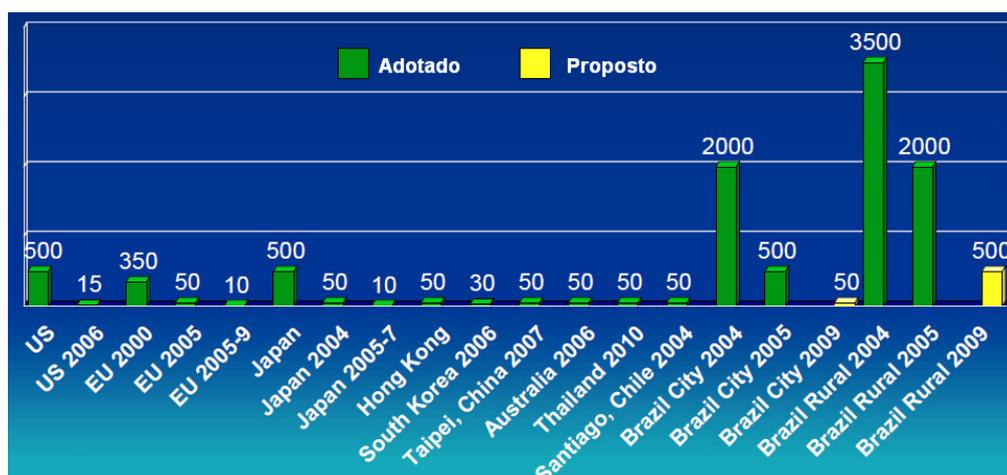


Gráfico 47 – Volume de enxofre no óleo diesel de determinados países (partes por milhão). Fonte: WALSH, 2007, p.16.

²⁶ PPM – partes por milhão.

A produção de diesel com baixo teor de enxofre pode ocorrer de duas maneiras. Na primeira delas o petróleo utilizado para produzir o diesel já contém baixo teor do composto, logo o próprio processo convencional de produção do combustível resulta em um produto com níveis baixos. Na segunda o petróleo apresenta elevado índice de enxofre, então precisa passar por um tratamento chamado de dessulfurização para que parte do composto seja retirada do óleo. A eliminação quase que total do material pode ocorrer por meio de processos de hidrotreatamento, conhecidos, por exemplo, por hidrodessulfurização ou hidrocrackeamento.

Os processos de hidrotreatamento são eficientes, mas apresentam custos adicionais ao método tradicional de refino do petróleo para a obtenção do diesel. Segundo Cerutt (2007, p.16), “a tecnologia atual de hidrotreatamento consegue reduzir o teor de enxofre a menos de 15 ppm apresentando os inconvenientes do alto custo e da dificuldade de eliminar os compostos de enxofre refratários”. Os gastos para a redução do volume de enxofre do diesel são variados de acordo com o país onde é realizado o processo de hidrotreatamento e por outros fatores, como a qualidade do petróleo que está sendo tratado. O gráfico 48 demonstra as variações de custo adicional ao preço do galão de óleo diesel em alguns países.

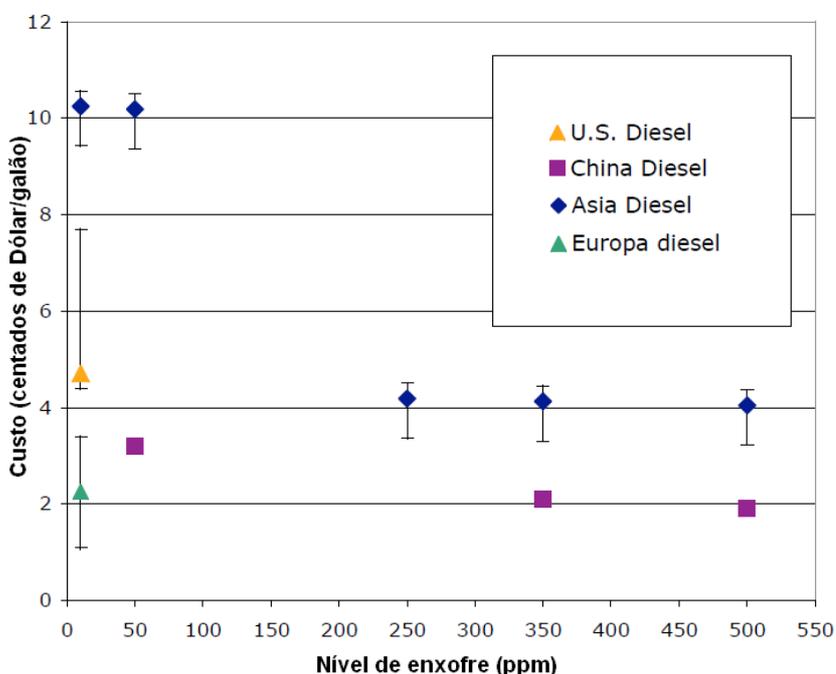


Gráfico 48 – Estimativa do aumento de custo do diesel com baixo nível de enxofre.
 Fonte: ICCT, 2008, p.3.
 Um galão americano tem aproximadamente 3,78 litros.

Apesar da elevação dos custos de refino do petróleo para a obtenção de um diesel de melhor qualidade, os ganhos com a diminuição do composto são significativamente

relevantes. Segundo estudos da *United States Environmental Protection Agency*, os benefícios da redução dos níveis de enxofre no diesel são da ordem de 16 para 1. Estima-se que somente nos Estados Unidos os ganhos financeiros até 2030 serão da ordem de US\$ 70 bilhões (ICCT, 2008, p.4). Segundo Bailey (2004, p.19), os investimentos em diesel limpo são pagos por si só através da diminuição dos custos com assistência médica.

A redução do percentual de enxofre contribui diretamente para a menor emissão de uma série de componentes perigosos e, conseqüentemente, para garantir uma economia significativa com perdas diretas decorrentes de substâncias poluentes. Estima-se que se reduzida a quantidade de material particulado emitido por veículos a diesel nos Estados Unidos até o ano de 2030, poderiam ser evitadas aproximadamente 5 mil mortes de adultos, 3 mil de crianças, 6 mil casos de internações por problemas cardiovasculares, 4 mil casos de problemas respiratórios e diversos outros problemas relacionados às emissões (BRANCO; BLUMBERG; WALSH, 2004, p.8).

Além dos benefícios diretos, a redução do enxofre é uma questão fundamental para a utilização de algumas tecnologias também capazes de minimizar as emissões de diversos poluentes atmosféricos. Os novos sistemas de catalisadores, filtros e outras tecnologias dependem de baixos níveis do composto para serem utilizadas. Normalmente somente funcionam de maneira adequada com níveis abaixo de 50 ppm de enxofre, assim, quanto maior seu nível, mais inibem o uso de recursos redutores de poluentes. Por essas razões o enxofre é considerado o atual desafio dos fabricantes de combustíveis e motores a diesel. Assim como o chumbo foi um grande problema a ser resolvido pelas indústrias automobilísticas e petrolíferas nas décadas passadas, o enxofre assumiu uma posição similar na atualidade, representando o papel de chumbo do novo século (BLUMBERG; WALSH; PERA, 2003, p.8).

Para os países que já avançaram na produção de diesel com baixa concentração de enxofre, como os Estados Unidos, Japão e alguns outros da União Européia, o desafio tem sido a inserção de algumas tecnologias capazes de reduzir, ainda mais, as emissões dos veículos pesados. Mesmo diante da melhoria na qualidade do diesel, o crescimento constante da frota e o uso de combustível fóssil ainda representam grandes desafios a serem superados em razão das emissões de componentes danosos à saúde humana e ao meio ambiente.

3.1.3. *E-diesel*

O e-diesel é uma mistura de etanol com diesel comercial, que normalmente fica compreendida entre os percentuais de 10 a 15% de álcool. O combustível representa uma alternativa semelhante às misturas do diesel com o biodiesel, nesse caso, somente com o

etanol. Em razão do grande volume de etanol produzido pelos Estados Unidos, o combustível atingiu um preço de comercialização considerado baixo. Por essa razão a utilização do etanol na mistura se tornou uma opção factível ao mercado norte-americano.

O uso do e-diesel está em estágio inicial, exclusivamente em fase experimental, pois apesar da viabilidade econômica, existem diversos fatores técnicos que comprometem o uso do combustível com essa mistura. O ReFUEL, laboratório americano responsável por pesquisas com o produto, indicou a ocorrência de problemas com o combustível, como o baixo *flashpoint*²⁷, o acúmulo de vapor inflamável no tanque de combustível e a possibilidade de separação do etanol e o diesel quando submetidos a baixas temperaturas (NREL, 2008, p.2).

O laboratório ainda está realizando experiências para avaliar os possíveis impactos do uso da mistura nos motores diesel. A expectativa é conseguir utilizar o combustível em escala comercial para reduzir os danos ambientais e aqueles causados à saúde humana, além de reduzir a dependência da importação de petróleo e do óleo diesel. Atualmente existem programas públicos e privados nos Estados Unidos que utilizam as misturas em ônibus e caminhões, como o órgão de trânsito de Chicago, a empresa *Archer Daniels Midland Trucking* e a *Wast Management, Inc* (AHMED, 2001, p.4).

3.1.4. Emulsão de água em diesel

Outra alternativa para reduzir a emissão do óleo diesel convencional é a mistura água-diesel. Trata-se da emulsificação da água no óleo diesel. O percentual de água na composição é variado, chegando a até 15% do volume. Normalmente a melhor relação entre performance e emissões ocorre com volumes de água por volta de 13 a 15% da mistura. Como a água não se mistura ao óleo, para preparar o combustível é necessário realizar a emulsão dos líquidos, transformando o óleo em gotículas microscópicas por meio de procedimentos mecânicos ou de ultra-som, em processo semelhante ao de fabricação de maionese (SHELL, 2004, p.15). A mistura transforma o óleo em um líquido esbranquiçado semelhante à aparência do leite, conforme a figura 10.

²⁷ Temperatura mínima da mistura (ar/combustível), para que o combustível forme vapores que possam detonar.



Figura 10 – Aparência do diesel emulsificado (esquerda) em comparação com o diesel convencional (direita).
Fonte: SHELL, 2004, p.15.

O processo de fabricação do combustível pode ser realizado de formas variadas, por essa razão, as emulsões são classificadas como simples ou múltiplas. As simples representam as misturas do tipo água em óleo ou óleo em água. As múltiplas as misturas com três fases: água-óleo-água ou óleo-água-óleo. Basicamente o processo de preparação da emulsão consiste na agitação da mistura com uso de emulsificadores (DLUSKA; HUBACZ; WRONSKI, 2006, p.175).

As emulsões de diesel são utilizadas em projetos experimentais nas frotas de ônibus da Itália e da França desde meados da década de 1990, porém, o uso do combustível ainda é restrito por vários fatores. O combustível não pode ser submetido à mistura freqüentemente, a estocagem exige cuidados especiais e normalmente a distribuição não pode ocorrer por longas redes. Além desses fatores a mistura deve ser feita com o uso de diesel com ultra baixa concentração de enxofre (SHELL, 2004, p.7).

Apesar das restrições a mistura é uma alternativa viável sob diversos aspectos, principalmente, os ambientais. Um experimento realizado em Londres com alguns ônibus utilizando diesel com ultra baixa concentração de enxofre puro e com misturas de água em 10% do volume (*Diesel Emulsion*) demonstrou a redução da emissão de alguns poluentes. Em contrapartida, a emissão de monóxido de carbono aumentou, assim como o consumo, que foi 7,4% superior em relação aos ônibus que utilizavam diesel puro (BARNES *et al.* 2000, p.6). O gráfico 49 apresenta um comparativo entre a emissão dos dois tipos de combustível.

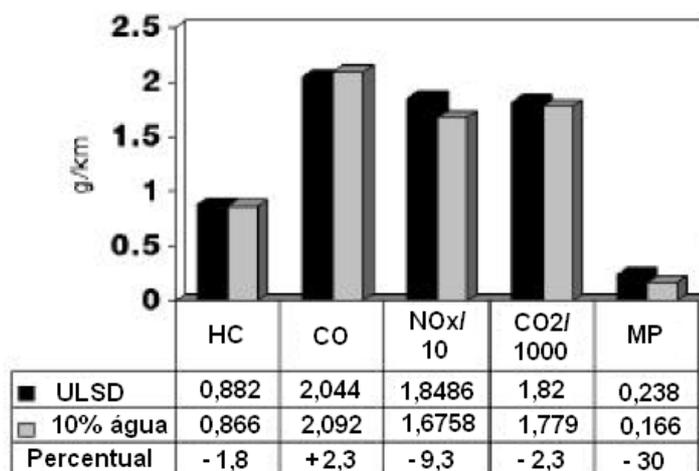


Gráfico 49 – Comparação das emissões dos ônibus utilizando diesel com ultra baixa concentração de enxofre puro e misturado com água em 10% do peso.
Fonte: adaptado de BARNES *et al.* 2000, p.6.

Outra grande vantagem do uso do diesel emulsificado é que ele não exige qualquer tipo de alteração nos motores. Quando realizado dentro dos limites de alta performance o combustível funciona sem oferecer qualquer tipo de problema. O produto é produzido e comercializado por empresas como a Shell, mas seu uso ainda é bastante restrito. No próximo tópico serão apresentadas algumas das tecnologias de filtragem disponíveis e capazes de reduzir as emissões dos veículos pesados de transporte de carga e passageiro.

3.1.5. Sistemas de redução de emissões

Assim como os veículos leves, os ônibus e caminhões também podem ser dotados de mecanismos para minimizar as emissões de poluentes atmosféricos. Os sistemas de filtros e conversão de materiais são algumas das alternativas utilizadas para reduzir os impactos do consumo do óleo diesel. Na Europa e nos Estados Unidos, onde os níveis permitidos de emissões são extremamente baixos e o diesel contém baixo volume de enxofre, é comum o uso de recursos dessa natureza.

As tecnologias atuam a partir dos gases emitidos na saída dos motores, que são tratados com o objetivo de reduzir, principalmente, o volume de óxido de nitrogênio e material particulado emitido pelos veículos. Normalmente essas tecnologias são utilizadas isoladamente ou em conjunto e dependem de diversos fatores para sua aplicação, como por exemplo, o tipo de motor e o nível de enxofre contido no óleo diesel. A seguir será apresentado no quadro 2 um resumo com as principais tecnologias em uso e em fase experimental de introdução no mercado.

Nome da tecnologia	Benefícios	Custo	Outras informações
<i>Diesel Oxidation Catalysts</i> (DOC) – Catalisador de Oxidação de Diesel	Reduz entre 20-50% da emissão de MP, entre 40-90% de CO e entre 40-90% de compostos orgânicos voláteis (COV).	US\$ 1.000 e 3.000	Compatível com todos os tipos de veículos. Melhor utilizado em veículos mais velhos.
<i>Flow Through Filters</i> (FTF) – Filtro de Passagem	Reduz aprox. 50% da emissão de MP, entre 40-90% de CO e entre 40-90% de COV.	US\$ 3.500 e 5.500	Melhor para veículos controlados eletronicamente, com moderada emissão.
<i>Diesel Particulate Filters</i> (DPF) – Filtro de Particulado de Diesel	Reduz mais de 90% das emissões de MP, entre 60-90%+ de CO e entre 60-90%+ de COV.	US\$ 5.000 e 8.000	Melhor utilizado em veículos novos.
<i>Lean NOx Catalysts</i> (LNC) – Catalisador de NOx Pobre	Reduz aprox. 25% das emissões de óxido de nitrogênio	US\$ 6.500 e 10.000	-
<i>Exhaust Gas Recirculation</i> (EGR) – Recirculação dos Gases do Escapamento	Reduz entre 40-50% da emissão de óxido de nitrogênio	US\$ 13.000-17.000	Pode aumentar a emissão de material particulado.
<i>Selective Catalytic Reduction</i> (SCR) – Redução Catalítica Seletiva	Reduz cerca de 90% a emissão de óxido de nitrogênio	Mais de US\$ 20.000	Necessita do uso de uréia e infra-estrutura disponível.

Quadro 2 – Tecnologias redutoras da emissão de NOx, CO, COV e MP, custos, benefícios e outras informações. Fonte: BAILEY, 2004, p.7-8; KASSEL; BAILEY, 2004, p.4.

A seguir algumas características das tecnologias redutoras de emissões descritas por Kassel e Bailey (2004, p.4):

- **Catalisadores de oxidação de diesel:** grande parte dos veículos, mesmo os mais velhos, comporta a instalação de um COD. Custam mais porque usam catalisadores mais caros, de metais preciosos, protegidos por direitos de propriedade. Esses dispositivos de controles toleram níveis de enxofre de até 500 ppm, portanto não exigem diesel com teores baixíssimos de enxofre. Mais de 1,5 milhões de CODs foram instalados em caminhões, ônibus e outros motores pesados a diesel desde meados da década de 1990.

- **Filtros de passagem:** esses filtros são capazes de reduzir o MP em pelo menos 50% em certos motores a diesel para estrada, com moderada emissão de MP. Esses dispositivos de controle funcionam melhor em motores fabricados após 1990, com controles eletrônicos e emissões dos motores não superiores a 0,2 gramas por potência de freio/hora (g/bhp-hr). Os filtros também funcionam com níveis de enxofre de 500 ppm. A utilização dessa tecnologia em escala comercial ainda é recente.

- **Filtros de particulado de diesel ativos ou passivos:** grande parte dos motores fabricados em 1994 ou depois, com controles eletrônicos e emissão moderada de MP, pode ser equipada com filtros de particulado de diesel. Uma empresa acoplou o DPF com um catalisador de NOx pobre, reduzindo o NOx em cerca de 25%, além da significativa redução de MP. Essas tecnologias requerem diesel com baixíssimo teor de enxofre (15 ppm) e, em alguns casos, exigem altas temperaturas de operação (acima de 250° Celsius em mais da metade do tempo). Mais de 150.000 veículos pesados em todo o mundo foram equipados com esses filtros.

- **Catalisadores de NOx pobre:** estão comercialmente disponíveis como adaptações e além disso são considerados caros, pois resultam em reduções de NOx de somente cerca de 20%. Funcionam com nível de enxofre de até 350 ppm, mas apresentam melhor desempenho com índices menores.

- **Recirculação dos gases do escapamento:** é capaz de reduzir o NOx em até 40%, mas as adaptações para esta tecnologia provaram ser difíceis em muitos veículos, pois podem aumentar as emissões de MP e interferir com outros controles do escape.

- **Redução catalítica seletiva:** capaz de reduzir até 90 % das emissões de NOx, ainda está em desenvolvimento e a demonstração é bastante cara. Esse sistema requer o uso de uréia ou outro redutor, o que significa que os usuários desse sistema têm que instalar ou ter acesso a estoques e infra-estrutura de uréia. Necessita de diesel com concentração de 50 ppm de enxofre para baixo.

No sistema de redução catalítica seletiva a uréia fica armazenada em um tanque no próprio veículo e à medida que o veículo emite gases, os sensores do sistema ativam a

emissão do composto com uréia sob os gases, conforme apresentado na figura 11, contribuindo para a redução, principalmente de NOx.

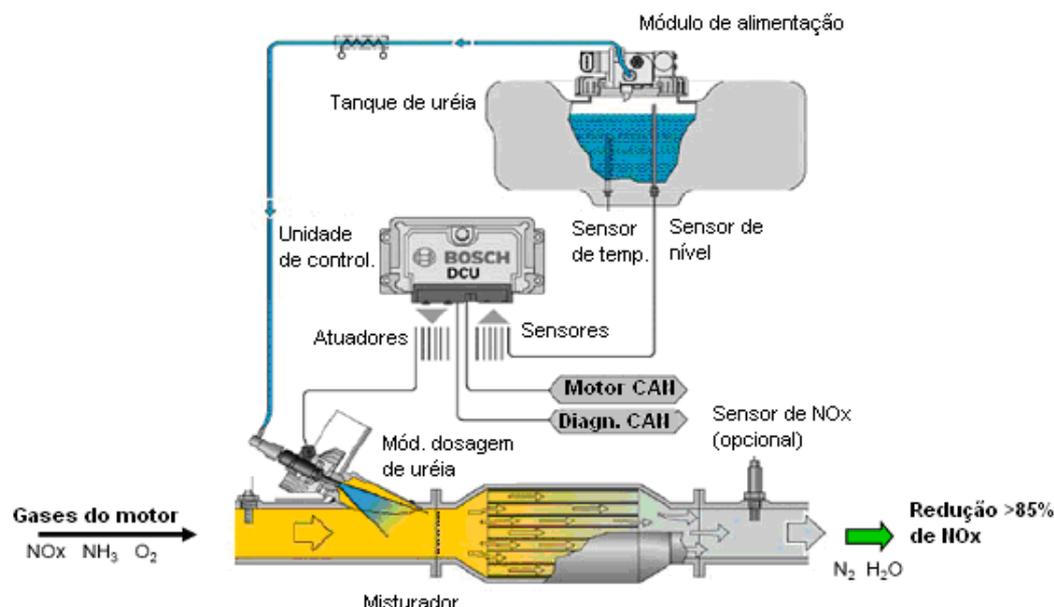


Figura 11 – Sistema de redução catalítica seletiva.
Fonte: BRUCK, 2007, p.26.

As tecnologias apresentadas são aquelas consideradas como as principais, em razão do uso e domínio da tecnologia. Além dessas existem outras, algumas em fase inicial e outras menos utilizadas, como os catalisadores com sistemas de regeneração contínua, os filtros que são potencializados com o uso de aditivos, os filtros de partículas catalisadas e os sistemas de adsorção, desenvolvidos com a finalidade de reduzir a emissão de NOx e HC, normalmente utilizados em conjunto com sistemas de catalisadores de três vias, quando existem restrições ao uso de outros tipos de tecnologias, sendo sua aplicação bem específica (AECC, 2008).

Esses sistemas de redução de emissão de poluentes em partes, somente são possíveis de serem aplicados quando o óleo diesel utilizado nos motores possui alta qualidade, ou seja, contém baixo volume de enxofre. O combustível com ultra baixo nível de enxofre permite que tecnologias de filtragem e redução de emissões sejam instaladas nos ônibus e caminhões, pois apresenta volume não danoso aos sistemas. Quando o óleo utilizado não possui a qualidade adequada pode prejudicar esses dispositivos e contribuir para o aumento da poluição, haja vista que ocorre a produção em maior quantidade de determinados materiais poluentes.

Quando bem montados esses sistemas de filtragem e redução de poluentes são extremamente eficientes. Um experimento realizado no ano de 2002 pela *Association for Emissions Control by Catalyst* e a empresa de consultoria *Ricardo Consulting Engineers* em

um motor de veículo pesado a diesel da marca IVECO, comprovou que o uso de um sistema combinado de tecnologias de catalisadores e filtros, – *Diesel Particulate Filters* (DPF) e *Selective Catalytic Reduction* a base de uréia –, pode reduzir as emissões de hidrocarbonetos em 77%, monóxido de carbono em 96%, óxido de enxofre em 82% e material particulado em 85% (SEARLES *et al.* 2002, p.9).

Apesar dos benefícios, essas tecnologias ainda estão bem distantes de muitos países, em razão de um fator técnico, o nível de enxofre contido no óleo diesel. Segundo Walsh (2007, p.30), de 2005 a 2008 o percentual de óleo diesel comercializado no mundo com ultra baixo teor de enxofre aumentará de 6% em 2005 para 57% em 2008 e poderá chegar, considerando um cenário otimista, a 62% em 2010. Entretanto, esses dados são apenas previsões que poderão ou não se confirmar.

3.1.6. Além do diesel convencional

As tecnologias para reduzir as emissões de ônibus e caminhões vão além do óleo diesel convencional e dos sistemas de filtragem e controle. A substituição do óleo diesel por outros combustíveis é um caminho alternativo para diminuir as emissões dos veículos pesados. Atualmente existem ônibus e caminhões movidos a combustíveis alternativos, alguns renováveis e outros não renováveis. Esses veículos estão em uso em diversos países, parte de projetos experimentais de universidades e empresas ou de programas governamentais.

A viabilidade técnica, financeira e de outras naturezas contribui para que o estágio de desenvolvimento e uso dessas tecnologias seja bem variado. Algumas delas representam uma alternativa consolidada, com fabricantes produzindo veículos aptos a utilizarem o combustível alternativo; produtores e infra-estrutura capazes de atender as demandas; rede de distribuição e abastecimento bem estruturada e completamente instalada; e disponibilidade de regulamentação que autoriza o uso. Outras ainda estão em fase experimental, dispondo de viabilidade técnica, econômica, ambiental e de outras naturezas ainda pouco conhecidas ou inadequadas. A seguir serão apresentadas algumas dessas tecnologias, com exemplos de uso e estágio atual de desenvolvimento.

3.1.6.1. Diesel sintético

O diesel sintético pode ser produzido a partir de três rotas. Uma delas é chamada de GTL (*gas to liquids*), que permite transformar gás em líquido. Essa rota implica em converter o *Syngas* (gás de síntese), obtido a partir do gás natural, petróleo, carvão ou biomassa, em

combustíveis na forma líquida, utilizando diversas técnicas, dentre elas o método chamado de Fisher-Tropsch, desenvolvido na Alemanha por volta de 1920 (SHELL, 2008a).

A outra é chamada de BTL (*biomass to liquid*), que compreende a conversão de biomassa em líquido. O estágio inicial é a conversão da biomassa em gás, seguindo por meio de processo semelhante ao de conversão do gás natural em líquido. A produção completa tem como um de seus estágios o processo de conversão Fisher-Tropsch, também utilizado na forma GTL, resultando no combustível sintético.

Outro caminho para se chegar ao combustível é pela rota chamada de CTL (*coal to liquids*), que permite converter o carvão diretamente em líquido, por meio de um processo de dissolução da matéria-prima em um solvente a alta temperatura e pressão. O método é extremamente eficiente, mas resulta em um produto que ainda precisa ser refinado para alcançar alta qualidade (WCI, 2006, p.4). De forma geral, pode-se dizer que o processo de conversão de matérias em líquidos é bem semelhante, com exceção da conversão direta de carvão em líquidos, e ocorre conforme a figura 12, que apresenta o fluxo genérico de conversão das matérias em produtos, como o diesel sintético.

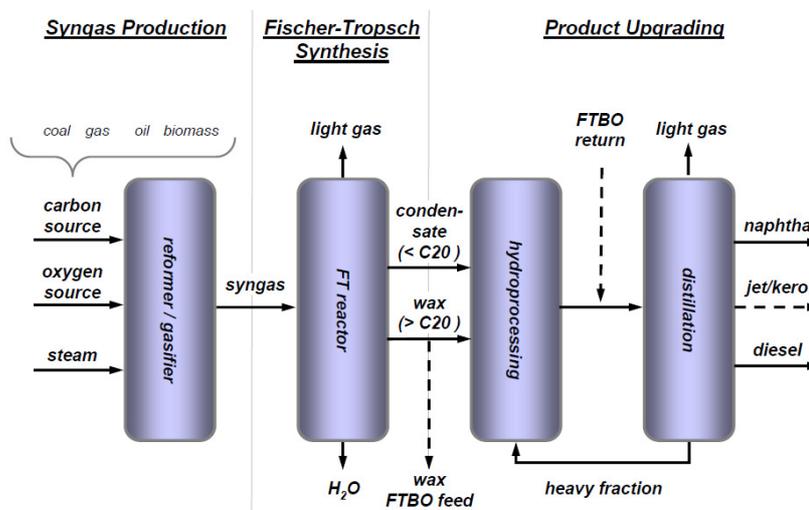


Figura 12 – Processo genérico de conversão xTL (GTL, CTL ou BTL).
Fonte: SCHABERG, 2005, p.3.

O diesel sintético pode ser utilizado misturado ao convencional, normalmente em proporções de 20 ou 30% ou sem misturas, em sua forma pura. O combustível sintético pode reduzir as emissões de todos os materiais controlados, colaborando para reduções, em média, de 13% de NOx e 26% de material particulado (SCHABERG, 2005, p.9), variando de acordo com o fabricante do produto ou do tipo de veículo utilizado. Além da redução das emissões, outra grande vantagem do diesel sintético é que ele pode ser utilizado sem a necessidade de adaptações nos motores a diesel de ônibus e caminhões (USDOE, 2007), nem alterações na estrutura de distribuição e abastecimento. Outras características

extremamente importantes do diesel sintético é que seu nível de enxofre é menor que 1 ppm (SCHABERG, 2005, p.9), permitindo o uso de qualquer outra tecnologia adicional de pós-tratamento, além de proporcionar economia no consumo de veículos pesados, como os caminhões, na ordem de 3 a 4% (SASOL CHEVRON; SHELL INTERNATIONAL GAS LIMITED, 2006, p.39).

O combustível sintético é produzido por empresas como a Shell, a Sasol Chevron, a ConocoPhillips e a Choren e utilizado em países como Alemanha, Inglaterra, Estados Unidos, China, Japão, Grécia e Tailândia, ainda em fase de teste (SHELL, 2008a) em veículos como caminhões e ônibus. O uso do diesel sintético, ainda em fase de teste em grande parte dos locais onde está disponível, faz parte de programas ou projetos das empresas produtoras do combustível, que o testam em parta de frotas de empresas de transporte coletivo de passageiros e cargas. Na Tailândia o combustível já chegou ao estágio de comercialização em forma semi-sintética, chamado de Shell Pura Diesel, constituído de uma mistura de diesel convencional, diesel sintético e aditivos (SHELL, 2008b).

O valor gasto para fabricar um barril do combustível a partir da conversão do gás natural é inferior ao de um barril do diesel convencional. A ConocoPhillips estimou o custo de produção de um barril de óleo diesel em US\$ 26 e o de um barril de GTL Diesel em US\$ 19 (ROCKWELL, 2003, p.9). Esse custo pode variar, mas se superior ao diesel será de poucos centavos de dólar. Um estudo da Shell em conjunto com a Sasol estimou que em 2020 o valor do diesel sintético será menor que o do diesel convencional, representando, na forma 100% pura, a melhor alternativa em substituição ao diesel convencional, conforme o gráfico 50.

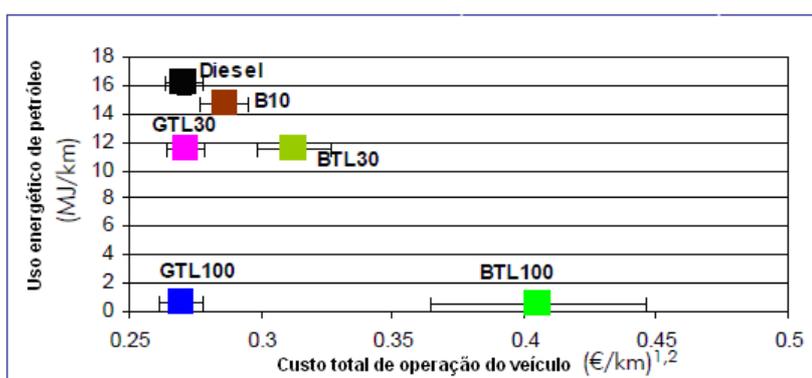


Gráfico 50 – Uso do diesel e combustíveis alternativos²⁸ versus custo (caminhões em uso na Europa em 2020).
 Fonte: SASOL CHEVRON; SHELL INTERNATIONAL GAS LIMITED, 2006, p.7.

²⁸ B10 é a mistura de diesel convencional com 10% de biodiesel; GTL 30 é o diesel convencional com 30% de diesel sintético produzido a partir do processo *gas to liquids*; BTL 30 é o diesel convencional com 30% de diesel sintético produzido a partir do processo *biomass to liquids*; GTL é o diesel 100% sintético produzido a partir do processo *gas to liquids*; BLT 100 é o diesel 100% sintético produzido a partir do processo *biomass to liquids*.

3.1.6.2. Biodiesel

O biodiesel é um combustível consolidado em algumas partes do mundo, principalmente na Europa, mais especificamente na Alemanha, maior produtora europeia do combustível no ano de 2007, posição de liderança assumida no ano de 2002, conforme apresentado no gráfico 51, e o único país a utilizar o combustível puro, o chamado B100 (IFQC, 2007). Em outros países o biodiesel é utilizado em pequenos percentuais de até 10%, condição que não demanda adaptações nos veículos. Existem misturas superiores ao diesel B10, que vão desde 20%, chamado diesel B20, até 100%, chamado de B100. Grande parte do uso das misturas nessa faixa, entre 20 e 100%, ainda estão sendo realizadas em fase de testes.

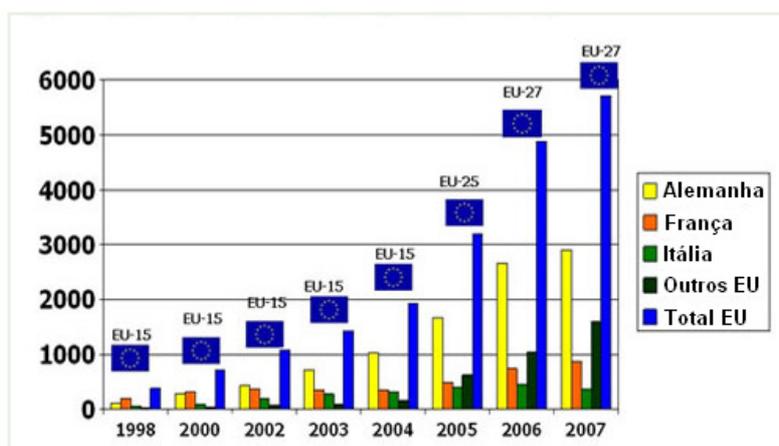


Gráfico 51 – Produção europeia de biodiesel (10^3 toneladas).
Fonte: EBB, 2008.

Nos Estados Unidos o Laboratório Nacional de Energias Renováveis realizou experimentos com ônibus movidos com a mistura B20. Os testes ocorreram entre o ano de 2004 e 2005 com cinco ônibus de uma empresa de transporte coletivo. Os resultados mostraram redução na emissão dos principais poluentes e uma leve economia no consumo de combustível, além da redução no custo de manutenção dos veículos, conforme apresentado no gráfico 52.

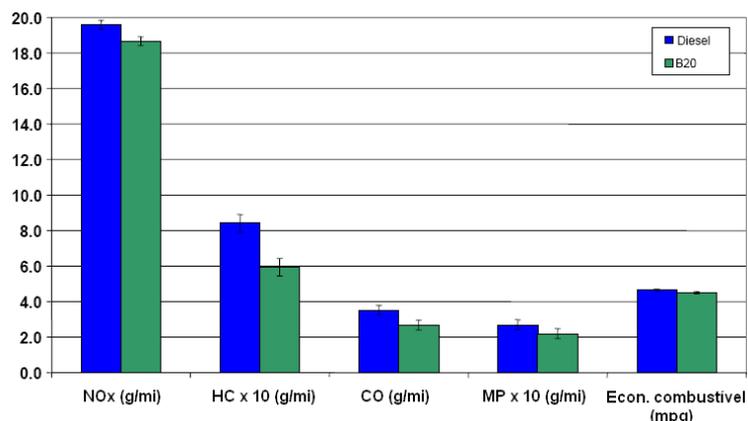


Gráfico 52 – Emissões e consumo de ônibus usando B20 e diesel puro.
 Fonte: PROC; BARNITT; MCCORMICK; 2005, p.2.

O Canadá é outro país que também realiza pesquisas e dispõe de veículos, como ônibus e caminhões, rodando em período experimental com misturas que vão do B20 a B50. Os veículos testados são ônibus e caminhões que fazem parte da frota de empresas de transporte de cargas e passageiros. O biodiesel é utilizado na mistura B20 no inverno e B50 no verão. O programa que conduz o uso do biodiesel, o BioBus, é responsável pela participação de mais de 130 veículos em municípios como Brampton, Halifax e Saskatoon (TRANSPORT CANADA, 2008,p.3).

Além desses países diversos outros também utilizam o biodiesel em escala comercial, a maioria com misturas ainda em percentuais baixos, algo entre 1 e 5%, como mostrado na figura 13. Outros países estão experimentando misturas acima de 10%, tudo ainda em fase de testes, observando, principalmente, os possíveis impactos sobre motores em misturas superiores a 5%. Os motores atuais conseguem suportar o uso de óleo diesel com misturas em pequenos percentuais e os fabricantes já oferecem motores capazes de funcionar com biodiesel puro, o B100.

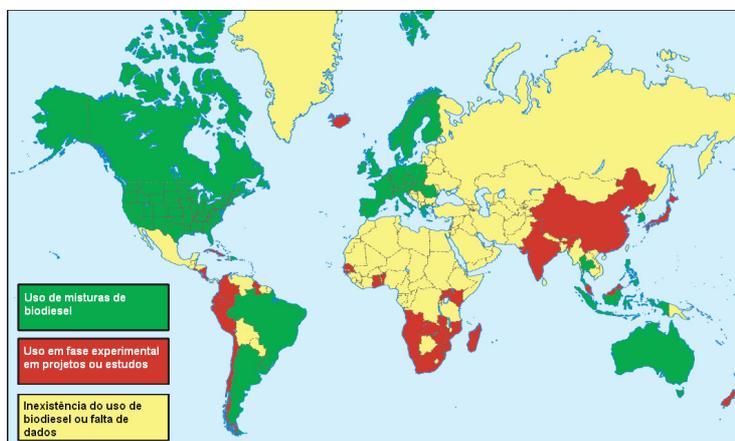


Figura 13 – Estágio de utilização do biodiesel no mundo.
 Fonte: IFQC, 2007.

3.1.6.3. Etanol

O etanol é um combustível consolidado em algumas partes do mundo e tem grande aplicação, principalmente nas misturas com a gasolina, em percentuais que variam de 1 a 25%, como no caso brasileiro. Veículos leves são os responsáveis por quase a totalidade do consumo do etanol em todo o mundo, entretanto, há algum tempo alguns estudos, pesquisas e testes estão sendo desenvolvidos na tentativa de avaliar e implementar o uso do etanol como combustível para veículos pesados como ônibus e caminhões, especialmente nos Estados Unidos.

Os primeiros testes para a utilização do etanol nos Estados Unidos datam de 1992, em um projeto que utilizou 14 ônibus e contou com a participação da Universidade da Virgínia, o departamento de trânsito local, o órgão federal de controle de trânsito, departamento de energia, departamento de recursos naturais e empresas privadas. Os resultados apresentaram significativas reduções na emissão de determinados poluentes atmosféricos (WSEO, 1993, p.51).

Outros testes foram realizados em maior escala, avaliando impactos técnicos e a viabilidade econômica da substituição do óleo diesel pelo etanol. O combustível utilizado era o E95, composto de 95% de etanol e 5% de gasolina. O experimento foi realizado em quatro caminhões durante quatro anos em uma empresa chamada ADM. Os veículos passaram por uma série de modificações para poderem funcionar com o combustível, como a alteração do sistema de controle, aumento dos bicos ejetores, inserção de um dispositivo para partidas frias e aumento da taxa de compressão de 18:1 para 23:1 (NORTON; KELLY; MAREK, 1996, p.3). Os resultados foram positivos quanto à emissão de determinados poluentes e negativos para outros, como observado no gráfico 53.

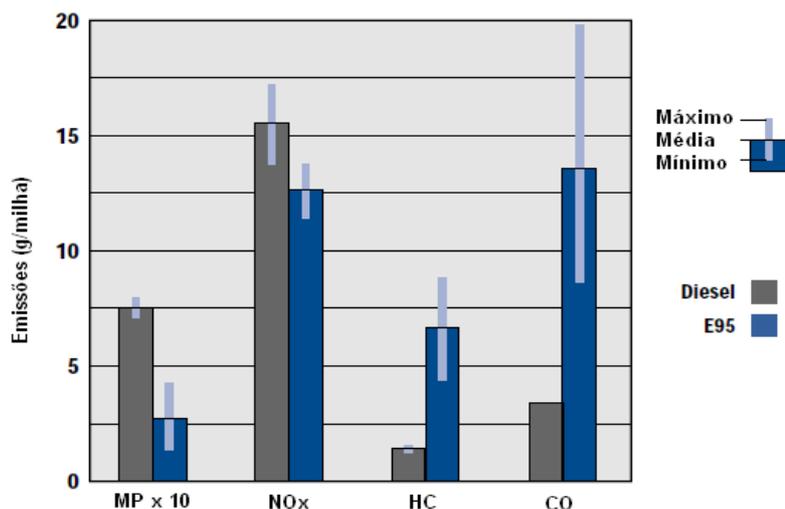


Gráfico 53 – Emissões de caminhões movidos a diesel e a etanol (etanol com mistura de 5% gasolina).
Fonte: NORTON; KELLY; MAREK, 1996, p.6.

O estudo analisou, além das questões técnicas, a viabilidade econômica do uso do etanol. O custo por galão era praticamente o mesmo, ficando em US\$ 1,05 para o diesel e US\$ 1,08 para o etanol. Entretanto, em termos energéticos, um galão de óleo diesel equivalia a 1,7 galão do E95. Quando comparada a quantidade de energia disponível em um galão, ela era de 129.000 Btu para o diesel e 77.600 para o E95. Por essa razão o custo final do etanol aumentou e, em termos energéticos, o custo do galão do diesel foi de US\$ 1,05 e o E95 saltou para US\$ 1,80. Como o setor de transportes de carga operava na época com margens baixas, em torno de 2%, a escolha do combustível a ser utilizado dependeria muito de seu custo. Segundo conclusões do estudo, poucos projetos estavam sendo realizados com o uso do etanol naquele momento, e as barreiras eram, em partes, mais econômicas do que técnicas (NORTON; KELLY; MAREK, 1996, p.8).

Além dos Estados Unidos alguns países também realizam experimentos com uso do etanol e outros o utilizam de forma regular, como um combustível consolidado. A Scania desde o início da década de 1990 vem desenvolvendo ônibus com motores a etanol. Em um projeto de quinze anos da empresa com o setor de transporte público de Estocolmo foram introduzidos cerca de 600 ônibus movidos a etanol, utilizando o combustível chamado de E95. O projeto que foi iniciado na Suécia será ampliado para outros países, como a Itália, Espanha e Polônia (GREEN CAR CONGRESS, 2006a).

Atualmente a Scania possui, além de ônibus movidos a etanol, um projeto para a utilização em escala comercial de caminhões movidos pelo combustível. O projeto está em fase de testes, com a participação de três empresas e deve ser finalizado no próximo ano, com a produção dos novos veículos (SCANIA, 2008). Assim como no projeto americano, a Scania realizou uma série de adaptações nos motores a etanol, que funcionam de forma semelhante ao ciclo diesel, porém com outro tipo de combustível. As principais modificações nos motores foram o aumento da taxa de compressão, de 18:1 para 28:1, a adição de maiores bicos de injeção, a alteração do tempo de injeção e a inserção de outros tipos de filtros (GREEN CAR CONGRESS, 2006b).

3.1.6.4. Metanol

O metanol, também conhecido como álcool metílico, pode ser produzido a partir da biomassa ou de material fóssil. Pode ser preparado a partir da destilação de madeiras ou a partir do gás de síntese, obtido, principalmente do gás natural. Apresenta características diferentes dos demais combustíveis, como a invisibilidade de sua chama. É extremamente tóxico, mas muito utilizado na indústria, principalmente como solvente no segmento

farmacêutico e de plásticos. O metanol também pode ser utilizado no processo de produção de biodiesel, considerado mais econômico que o etanol.

Além dessas aplicações o metanol pode ser utilizado diretamente como combustível. Por suas características seu uso é bastante comum em competições esportivas, como, por exemplo, na Fórmula Indy. No setor de transportes o metanol ainda é um combustível em fase de teste. Em 1996 o departamento de energia americano iniciou um projeto para testar combustíveis alternativos em ônibus que operavam em todo o país. Um deles era o metanol, chamado de M100 – 100% metanol. Foram utilizados 10 veículos, com motores da *Detroit Diesel Corporation*, que circulavam na cidade de New York e Miami (MOTTA *et al.* 1996, p.5).

Os resultados do programa em termos da redução da emissão da poluição foram satisfatórios para alguns poluentes. Os ônibus movidos a metanol emitiram menos material particulado e óxido de nitrogênio. Com relação aos hidrocarbonetos e monóxido de carbono, os veículos que eram utilizados na cidade de Miami poluíam mais que os veículos a diesel em outras cidades, conforme tabela 23.

Cidade	Comb	Nº ônibus	MP	NOx	HC	CO
Miami	Metanol	5	0.39	11.6	37.5	25.1
New York	Metanol	5	0.11	6.8	2.1	8.4
Peoria	Diesel	3	0.72	25.3	2.7	7.5
Minneapolis/ St. Paul	Diesel	5	1.05	25.3	3.4	9.5
	Diesel	5	0.81	26.4	2.1	6.7
Miami	Diesel	4	2.53	26.7	2.1	16.0

Tabela 23 – Emissões de ônibus a metanol e a diesel.
Fonte: adaptado de MOTTA *et al.* 1996, p.22.

De forma geral os ônibus a metanol poluem menos que os veículos a diesel não dotados de sistemas de filtragem, porém, apesar de sua viabilidade ambiental, sob o aspecto da emissão de poluentes, o custo do combustível e da operação sobrepõem-se as vantagens ambientais. O programa também avaliou o custo de operação dos veículos, incluindo o abastecimento e a manutenção. Os custos dos ônibus a metanol foi muito superior aos movidos a diesel. O gráfico 54 apresenta os valores gastos com manutenção e o custo total de operação dos veículos utilizados no programa.

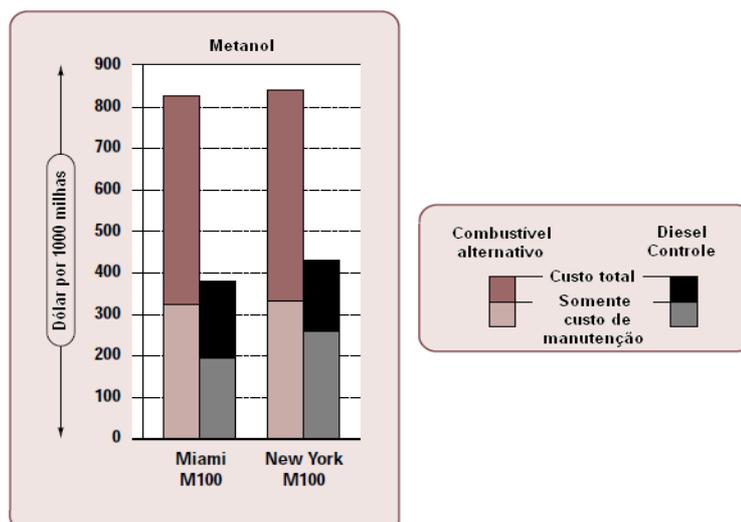


Gráfico 54 – Custos totais de uso do metanol por veículo.
 Fonte: adaptado de MOTTA *et al.* 1996, p.17.

Dentre as razões que elevam os gastos dos veículos a metanol, uma delas é o potencial energético do combustível. Para se obter a mesma equivalência energética de um galão de óleo diesel são necessários 2,3 galões de metanol (NYSERDA, 1997, p.3.7), conseqüentemente se demanda mais volume de combustível para percorrer distâncias equivalentes em comparação com o diesel. Além disso, a utilização do metanol em motores a diesel requer alterações no sistema de injeção de combustível, filtros e alguns outros componentes. Apesar dos testes e programas com a utilização do combustível, seu uso ainda não acontece em escala comercial. A produção mundial ainda é baixa e quase que a totalidade está dedicada para outras finalidades que não a utilização como combustível no setor de transportes.

3.1.6.5. Dimethyl Ether (DME)

O éter dimetílico ou dimetil éter é um gás produzido a partir do gás de síntese obtido da biomassa, carvão ou gás natural, sendo este último a fonte mais comum. O gás é empregado como propelente em aerossóis nas áreas de pintura, cosmética e agricultura em substituição a produtos nocivos ao meio ambiente, desde 1966 (SOUZA *et al.* 2005, p.1). O DME pode ser obtido em um processo de conversão direta a partir do gás de síntese ou a partir do metanol, em processo de desidratação, conforme processo apresentado na figura 14.

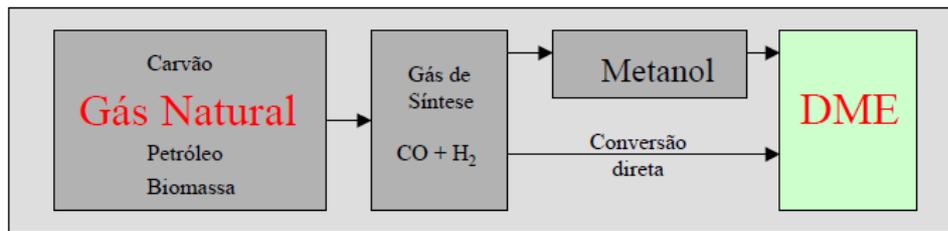


Figura 14 – Processo simplificado de obtenção do DME.
Fonte: SOUZA *et al.* 2005, p.3.

A partir de meados da década de 1990 surgiu o interesse pelo gás em aplicação como combustível. Por ter algumas características semelhantes ao diesel, como o número de cetanas e a temperatura de ignição, o gás passou a ser um dos possíveis substitutos do óleo. Desde então o número de empresas e países interessados na produção e utilização do gás como combustível tem aumentado de forma significativa.

Empresas, universidades e institutos de pesquisa de diversas partes do mundo estão realizando estudos e experimentos a fim de viabilizar o uso do DME como combustível automotivo. Dentre esses países o Japão é um dos que mais se destacam. Segundo Oliveira, Bomtempo e Almeida (2006, p.8), do total de patentes publicada na base Derwent²⁹, 58% delas foram de origem japonesa.

O Japão e outros países possuem projetos com ônibus e caminhões movidos a DME, na forma pura ou misturados ao diesel convencional. A Universidade da Pensilvânia, nos Estados Unidos, realizou testes de agosto de 2001 a abril de 2002, com um ônibus movido a DME e óleo diesel, em proporções de 10 a 25% do volume do gás. Os resultados foram satisfatórios quanto à emissão de material particulado, que reduziu cerca de 80% em misturas de 25%, porém, houve aumento na emissão de NOx, HC e CO (CHAPMAN *et al.* 2002, p.30).

Além do aumento na emissão de poluentes, os veículos a diesel necessitam de adaptações para funcionarem a DME. O combustível gera alguns problemas técnicos quando utilizado em motores ciclo Diesel. Um dos problemas do combustível está em sua viscosidade, que por ser baixa, resulta em problemas de lubrificação (CHAPMAN, 2002, p.29), além de outras incompatibilidades técnicas em relação aos motores a diesel, resultando, em alguns casos, no aumento do consumo de DME (CHAPMAN, 2002, p.30).

Apesar dos problemas apresentados em alguns projetos e das limitações técnicas, o Japão, os Estados Unidos e países da União Européia estão desenvolvendo outros projetos com ônibus e caminhões, e diferente do projeto da Universidade da Pensilvânia, os resultados são extremamente favoráveis. As emissões de NOx e MP caíram de tal maneira

²⁹ Derwent World Patents Index é uma base de patentes.

que já atendem aos limites de emissões estabelecidos pelo governos japonês para o ano de 2009 (SOUZA *et al.* 2005, p.5).

Segundo Ribeiro e Real (2006, p.19), “dentre todas as opções de combustíveis alternativos derivados do GN, o DME é o que se encontra menos desenvolvido, inclusive em termos tecnológicos, considerando-se as necessidades de adequação aos motores”. Ainda assim, em razão dos avanços na redução das emissões decorrentes do uso do combustível e pela variedade de matérias-primas capazes de produzir o DME, o combustível tem sido objeto de interesse de diversas empresas, que cada vez mais estão investindo no desenvolvimento de soluções para o uso do combustível em veículos, principalmente com motores a diesel.

3.1.6.6. Gás liquefeito de petróleo

O gás liquefeito de petróleo, também conhecido como propano, é um produto consolidado como combustível veicular em alguns países. Sua utilização em grande parte se restringe a veículos leves. Somente nos Estados Unidos eram mais de 280 mil veículos no ano de 2002, com forte tendência de crescimento, conforme apresentado no gráfico 55. O combustível se tornou o terceiro mais utilizado, ficando somente atrás do diesel e da gasolina naquele país. No mundo são mais de dez milhões de veículos movidos a GLP, com forte tendência de expansão.

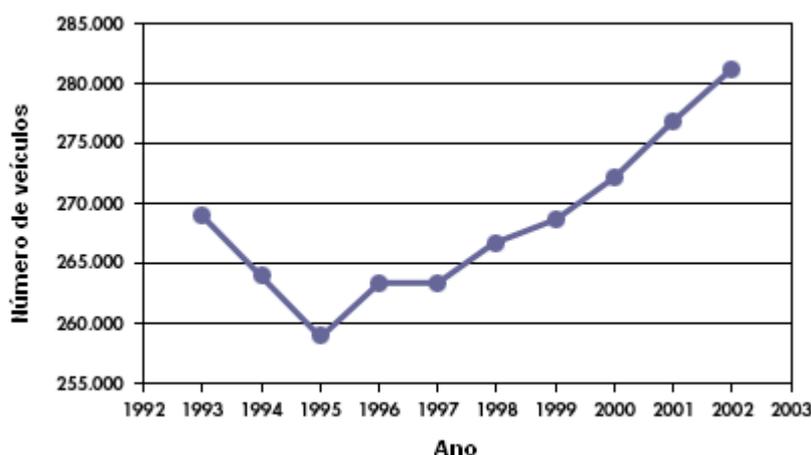


Gráfico 55 – Número de veículos movidos a propano em uso nos Estados Unidos.
Fonte: PROPANE COUNCIL, 2008.

Além da utilização em veículos leves, em Viena, na Áustria, o gás já vem sendo utilizado como combustível em veículos pesados há mais de trinta anos, contando atualmente com uma frota de mais de 400 ônibus (SHELL, 2008c). Além da Áustria, outros países desenvolvem programas de testes para uso do GLP, como a República Checa, que

possui na região norte, em Litvinov, uma frota de mais de 85 ônibus operando com o combustível (BEROUN; MARTINS, 2001, p.3), os Estados Unidos, que por meio do programa *Clean Cities* utiliza 67 ônibus em fase de testes e o Canadá, em Ontário, que irá implantar em fase experimental alguns ônibus de circulação metropolitana (TIAX LLC, 2003, p.3).

O uso do GLP é em grande parte para veículos leves, mas os programas e projetos com veículos pesados que utilizem o combustível estão crescendo. As empresas estão começando a produzir veículos pesados com a tecnologia, como a *DAF Trucks*, uma corporação holandesa que fabrica ônibus movidos a GLP. Apesar de ter densidade energética inferior ao óleo diesel, tornando seu consumo 1.7 vezes maior em relação ao diesel, o preço do GLP é inferior ao do óleo, permitindo uma economia anual na ordem de US\$ 7.650, garantindo o retorno de investimento, em razão do custo adicional dos ônibus a GLP, em menos de quatro anos (CADDET, 1997, p.1).

O mercado de veículos movidos a GLP estava restrito a carros, comerciais leves e ônibus. Nesse ano, em um projeto conjunto de organizações australianas, como a *Fleet Effect Pty Ltd*, *Advanced Vehicle Technologies Pty Ltd (AVT)*, *Autolync Pty Ltd*, *MapData Sciences Pty Ltd*, *Co-operative Research Centre for Advanced Automotive Technologies (Auto CRC)* e membros da *University of South Australia* e da *Victorian Partnership for Advanced Computing – VPAC*, permitiu o lançamento do primeiro caminhão do mundo movido a GLP. Além de ser o primeiro, trata-se de um motor a diesel adaptado para o combustível (LPG AUTOGAS, 2008), uma grande diferença, considerando que os outros veículos que utilizavam o gás funcionavam com motores ciclo Otto.

Mais do que o preço do combustível, outro fator que torna relevante o uso do GLP em substituição ao óleo diesel é emissão de poluentes atmosféricos. Veículos movidos com o gás emitem menor quantidade de terminados poluentes que os movidos a diesel. Existe uma redução considerável de alguns deles como, material particulado e óxido de nitrogênio (WLPGA, 2005, p.11). Os veículos leves movidos a GLP encontram-se em estágio avançado de desenvolvimento, já os pesados, mesmo produzidos em escala comercial, ainda fazem parte de projetos de pesquisa.

3.1.6.7. Gás natural

Em termos tecnológicos, quando se fala em motor a gás natural, na verdade trata-se de motor a metano, em razão da constituição do gás natural. Aproximadamente 80% da composição do gás natural, extraído em diversos países do mundo, é de metano. Além do gás natural, o metano pode ser produzido a partir de processo de digestão anaeróbica,

resultado da ação de microorganismos em material orgânico como lixo, esgoto, excrementos e outros, conhecido por biogás. Nesses casos o metano é produzido a partir da ação humana, como na agricultura e aterros de lixo, e em processos naturais espontâneos ocorridos em pântanos e no fundo dos oceanos, porém, a captação do metano nesses contextos ainda é objeto de estudo.

A maneira mais controlada, produtiva e comum para a obtenção do metano é por meio do gás natural. Por esse motivo o metano, em alguns casos, é tratado como gás natural e vice-versa. Dessa forma, ao abordar os motores a gás natural, entende-se que são motores a metano, podendo ser utilizados com o gás, independente da origem de sua obtenção. De qualquer forma, por ser o metano um gás causador do efeito estufa, com impacto muito superior ao dióxido de carbono, cerca de 20 vezes maior, a grande vantagem de utilizá-lo está no fato de retirá-lo da atmosfera. Mesmo com a alta concentração de metano no gás natural, o resultado de sua queima é extremamente limpo.

O gás natural também pode ser encontrado na forma líquida, conhecido como gás natural liquefeito. O GNL é produzido a partir de um processo de purificação e de resfriamento do produto a -162° C em pressão atmosférica, chamado de criogênico. Com utilização do método de liquefação o gás tem seu volume reduzido em cerca de 600 vezes, resultando em um produto com composição mais estável (GASLOCAL, 2008, p.3), tornando-se basicamente metano puro. Esse processo permite ao gás ser transportado em estado líquido em caminhões e navios. Depois de transportado em estado líquido, o GN passa por um processo de regaseificação para transformá-lo novamente em gás.

As possibilidades de transporte, a combustão limpa, a distribuição das reservas, o preço competitivo e diversos fatores estão contribuindo para que o combustível ganhe cada vez mais espaço, inclusive no setor de transportes. Apesar de predominante o uso de veículos leves movidos a gás natural, os avanços tecnológicos, as pressões ambientais e a ampliação da rede de abastecimento, assim como outros fatores, têm contribuído para o aumento da frota de ônibus e caminhões movidos a gás. Países como Estados Unidos, Canadá, Rússia, Portugal, Espanha, Índia, Moçambique e alguns outros utilizam o combustível em veículos pesados.

Há algumas décadas o combustível faz parte de projetos e programas de empresas e de governos, na tentativa de avaliar os resultados do uso do gás, principalmente em comparação com o óleo diesel. No início da década de 1990 a empresa Cummins, fabricante de veículos pesados, realizou diversos testes com ônibus movidos a gás natural. Foram adaptados aproximadamente 210 motores para utilização em ônibus e caminhões. Os resultados mostraram redução nas emissões de poluentes atmosféricos e economia 20% menor de combustível em relação aos motores a diesel (CHU, 1992, p.2).

Mais de dez anos depois, como parte do programa *FreedomCAR & Vehicle Technologies Program* do Departamento de Energia dos Estados Unidos, 10 ônibus a gás natural, de uma frota adquirida de 260, foram testados entre 2004 e 2005. Os resultados mais uma vez demonstraram uma economia 25% menor que os ônibus movidos a diesel. O gráfico 56 mostra o consumo por tipo de combustível e origem da partida.

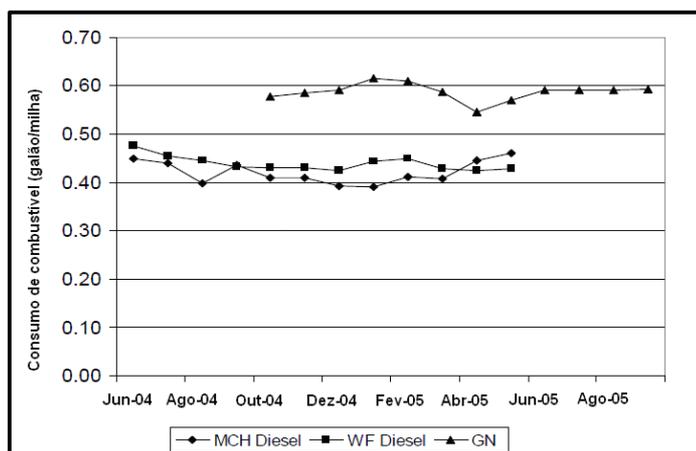


Gráfico 56 – Média de consumo dos ônibus (por tipo de combustível).³⁰
 Fonte: adaptado de BARNITT; CHANDLER, 2006, p.24.

Outro problema além da eficiência energética está na manutenção. Veículos pesados a gás natural costumam demandar maiores cuidados, podendo apresentar custos mais elevados de manutenção. Um estudo conduzido pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos e a Empresa *United Parcel Service* demonstrou um aumento de custo de manutenção na ordem de 29% em um dos grupos de caminhões estudados, além de menor economia de 27%, em comparação com veículos a diesel (CHANDLER; WALKOWICZ; CLARK, 2002, p.14).

Em contrapartida, as emissões dos caminhões a gás natural são significativamente menores para determinados tipos de poluentes. O gráfico 57, exposto a seguir, mostra como a emissão de NOx ficou quase 50% menor nos caminhões movidos a gás natural.

³⁰ MCH e WF são os nomes das localizações de onde os ônibus a diesel partiam – MCH significa Mother Clara Hale e WF West Farms. O consumo dos veículos a gás é baseado na equivalência energética de um galão de óleo diesel.

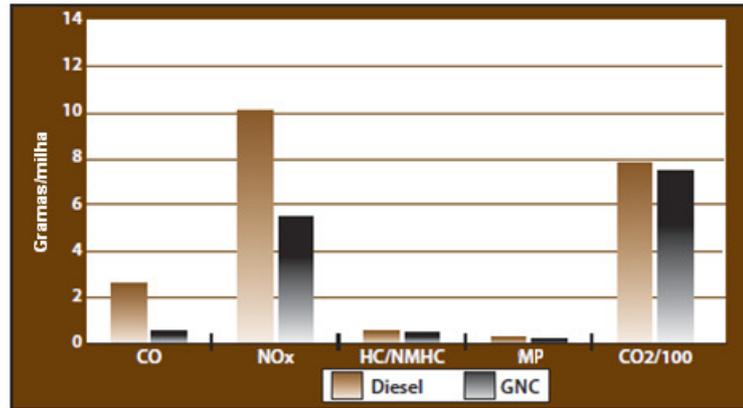


Gráfico 57 – Emissões dos caminhões por tipo de combustível.
 Fonte: adaptado de CHANDLER; WALKOWICZ; CLARK, 2002, p.20.

Ainda que com algumas desvantagens em relação ao diesel, os veículos pesados a gás natural estão ocupando cada vez mais parte do mercado. Fabricantes como Cummins, Scania, Volvo, Daimler-Chrysler (RIBEIRO, 2001, p.26), Renault, Detroit Diesel e Mercedes-Benz já oferecem ônibus e caminhões com a tecnologia. Somente nos Estados Unidos, aproximadamente 25% dos ônibus comprados em 2004 são movidos a gás natural (NREL, 2005, p.2). O gráfico 58 dá uma dimensão da expansão da frota americana de ônibus movidos a GN.

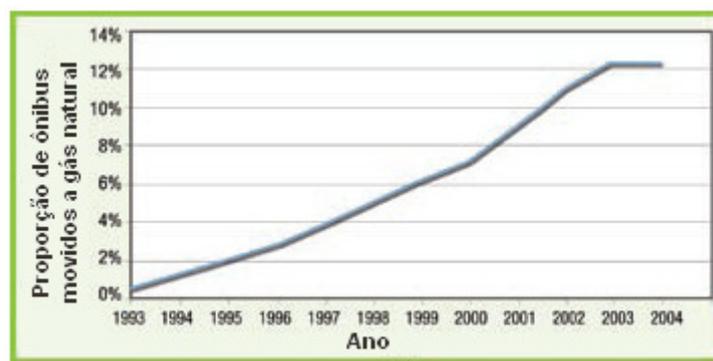


Gráfico 58 – Proporção de ônibus movidos a gás natural nos Estados Unidos.
 Fonte: NREL, 2005, p.1.

Uma das razões para a ampliação da frota está nas emissões. Um teste realizado pela Universidade da Virgínia em ônibus do Colorado constatou que veículos desse tipo movidos a gás emitem cerca de 97% menos material particulado e 58% menos óxido de nitrogênio que motores a diesel (NREL, 2000, p.1). Além disso, mesmo que os ônibus a gás tenham custo mais elevado do que aqueles a diesel, em razão do preço do gás natural, normalmente 25 centavos de dólar mais barato que o diesel, a economia permitiu pagar investimentos de conversão ou aquisição em pouco mais de três anos (NREL, 2000, p.2). Nos Estados Unidos o gás natural custa de 15 a 40% aproximadamente menos que o óleo

diesel (USEPA, 2002, p.2), isso permite que, após o pagamento dos investimentos, os veículos tenham custos menores de operação.

Além do uso do gás em sua forma original, o gás natural liquefeito tem surgido como uma tecnologia promissora. Em 1996 haviam mais de 300 empresas trabalhando no desenvolvimento de tecnologias para o transporte e infra-estrutura do gás liquefeito e mais de 50 veículos pesados testados em programas de avaliação de desempenho quanto ao uso do GNL nos cinco anos anteriores (SHIVAK, 1996, p.5). Alguns anos de testes e avanços tecnológicos permitiram progressos significativos nos veículos a GNL. Segundo a *United States Environmental Protection Agency* (2002, p.2), não existem diferenças discerníveis entre o desempenho, operação e utilidade dos veículos a GNL e a diesel. A alta qualidade do processo de ignição é similar ao do combustível fóssil, provendo durabilidade e tempo de vida similar aos motores que operam com o derivado do petróleo.

No ano de 2001 a empresa *Norcal Waste System, Inc.* iniciou o uso de caminhões a GNL. Os veículos eram protótipos da *Cummins Westport, Inc.* e faziam parte do programa *FreedomCAR & Vehicle Technologies Program*, coordenado pelo Departamento de Energia Americano, com duração de aproximadamente 2 anos. Os veículos foram dotados de um sistema *dual-fuel*. Com esse mecanismo GNL, já em estado gasoso, é injetado juntamente como o óleo diesel nos cilindros e a combustão é iniciada por ele. Isso ocorre em razão da temperatura de auto-ignição do gás natural ser extremamente elevada, então o diesel funcional, de forma comparativa, a centelha dos motores Otto, que dão início à combustão. Da energia consumida pelo sistema, cerca de 6 a 7% são provenientes do óleo diesel. O sistema funciona conforme a figura 15.

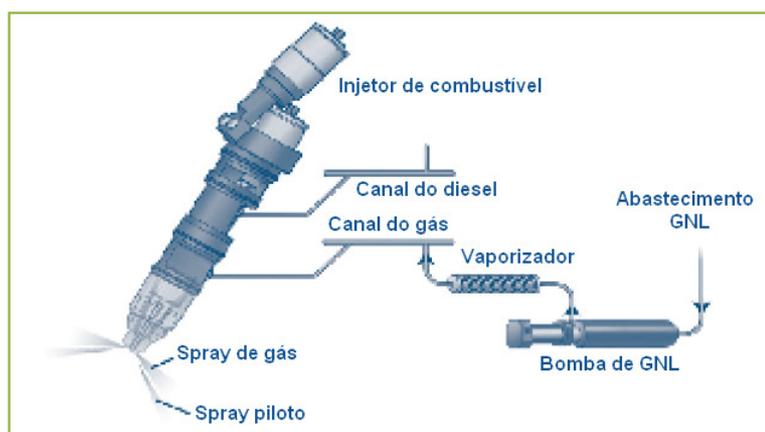


Figura 15 – Sistema injetor dos ônibus a GNL.
Fonte: adaptado de CHANDLER; PROC, 2004, p.6.

Os resultados do programa representaram um grande avanço, principalmente em relação à eficiência energética. A economia de combustível que costumava ficar entre 27 e 37% menor nos veículos a gás em comparação com aqueles a diesel caiu para somente

10,5% a menos que os equivalentes a diesel. Além disso, a dirigibilidade dos caminhões foi considerada igual e em alguns casos melhor que os veículos a diesel. As emissões, pela natureza do combustível, mantiveram-se abaixo daquelas de veículos a diesel. O custo de manutenção, como nos projetos anteriores, foi mais elevado, ficando 2,3 vezes maior que os similares a diesel (CHANDLER; PROC, 2004, p.20).

Apesar de todos os avanços, os veículos pesados movidos a gás natural, em estado original ou liquefeito, em motores Otto ou Diesel, sob alguns aspectos ainda estão em desvantagem com relação aos tradicionais motores a diesel, principalmente a nova geração, que polui muito menos. A fase de testes já acabou para os veículos a gás, mas ainda há espaço para melhoramentos até que seja alcançada e suplantada a eficiência dos veículos a diesel.

3.1.6.8. Hidrogênio

O hidrogênio é um elemento que compõe cerca de 80% de toda a massa do universo e 90% de suas moléculas (RIFKIN, 2003, p.180). Apesar da recente ascensão a história do hidrogênio começa em 1776, a partir da descoberta do cientista britânico Henry Cavendish. A primeira utilização ocorreu em 1794 na França, com a construção do primeiro gerador de hidrogênio, que o produziria para ser utilizado em balões de reconhecimento durante a guerra. A utilização do gerador ocorreu em função do hidrogênio raramente ser encontrado de forma livre no meio ambiente, necessitando ser extraído de outras matérias.

O hidrogênio pode ser obtido a partir de diversos materiais, como carvão, petróleo, gás natural, água e biomassa. A partir desses materiais, utilizando algumas técnicas de transformação, como reforma a vapor de combustíveis fósseis, eletrólise da água, processos termoquímicos nucleares, pirólise ou gaseificação de biomassa (USDOE, 2002a, p.4), é possível se obter o hidrogênio. A figura 16 apresenta uma visão geral das vias de obtenção do elemento. Depois de extraído o hidrogênio assume a composição H_2 e, em condições ambientes, se apresenta sob a forma de gás, sem cor e odor e atóxico. O hidrogênio também pode ser liquefeito, ao ser submetido a temperaturas **superiores** a $-253^\circ C$ e pressão de 1 atm, condição que o torna 848 vezes menor do que em estado gasoso, em condições ambientes normais (ETTC, 2001, p.1-8).

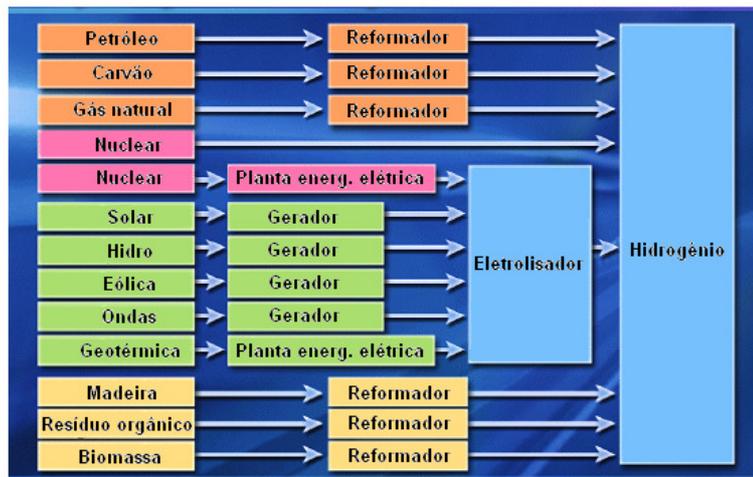


Figura 16 – Vias de obtenção do hidrogênio.
 Fonte: YACOBUCCI; CURTRIGHT, 2004, 2004, p.5.

Quanto aos métodos de obtenção, a reforma é um processo térmico que utiliza catalisadores a base de níquel e consiste em uma reação natural da matéria-prima, no caso, o combustível fóssil que está sendo utilizado, como por exemplo, o gás natural ou outro hidrocarboneto leve. O resultado final é uma mistura de hidrogênio e dióxido de carbono que depois são separados. Esse é o processo mais eficiente e mais comum, correspondendo a aproximadamente 95% da produção americana de hidrogênio. Outra forma de obtenção a partir de combustíveis fósseis, mais especificamente utilizando combustíveis pesados, é por um processo, também térmico, chamado de oxidação parcial, que consiste em uma reação entre o combustível e oxigênio puro, resultando em uma mistura a ser purificada. Esse processo é pouco utilizado e possui elevado custo, principalmente em razão da utilização de oxigênio puro (USDOE, 2002a, p.4).

A eletrólise é o segundo método mais utilizado, com cerca de 4% da produção total de hidrogênio. Esse processo requer a utilização de energia elétrica e pode ser de três a quatro vezes mais caro em comparação com aquele que utiliza o gás natural como matéria-prima, por isso a baixa aplicação (RIFKIN, 2003, p.190). A eletrólise consiste na utilização de células, com eletrodos positivos e negativos energizados, imersos em água com hidróxido de potássio (KOH), que realizam a separação do oxigênio e hidrogênio, por meio de reação química, conforme diagrama da figura 17.

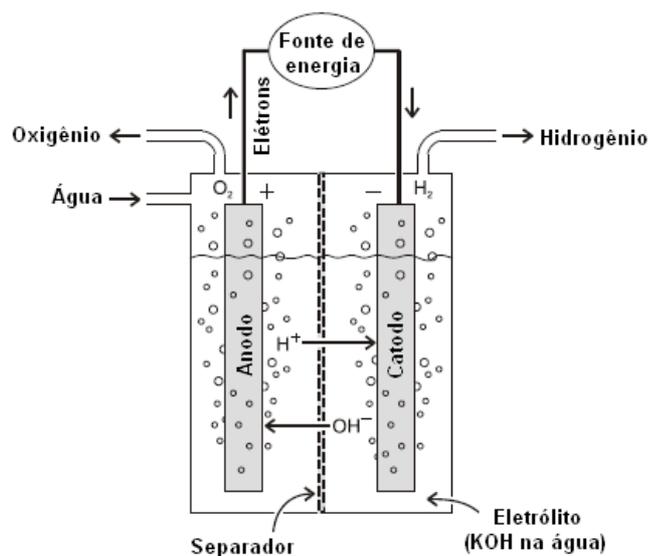


Figura 17 – Fluxo básico de uma célula de eletrólise.
 Fonte: ETTT, 2001, p.2-4.

Apesar de sua descoberta há séculos atrás, o hidrogênio somente obteve escala de produção no início do século XIX, sendo comercializado pela *Electrolyser Corporation Limited*, do Canadá na década de 1920. Desde essa época ele foi objeto de pesquisas e experimentos no setor de aviação e automotivo, mas nunca alcançou posição de destaque. Somente a partir da crise do petróleo, em 1973, o hidrogênio foi reconsiderado como uma alternativa energética para todos os setores, então as pesquisas e ações para seu desenvolvimento começaram a ganhar espaço e recursos, permitindo que a produção mundial no começo deste século chegasse a aproximadamente 40 milhões de metros cúbicos, cerca de 10% da produção mundial de petróleo em 1999 (RIFKIN, 2003, p.185).

Atualmente quase que a totalidade do hidrogênio obtido é utilizada como matéria-prima para a produção de fertilizantes, hidrogenação de óleos e outros produtos, além da refrigeração de motores e geradores. A abundância do elemento associada à provável aproximação da escassez do petróleo o colocou na posição de possível substituto do combustível fóssil, principalmente para o setor de transportes. Essa mudança, dos combustíveis fósseis para o hidrogênio, segundo os especialistas, seria a consolidação do fim da era dos hidrocarbonetos e o início da economia do hidrogênio.

Além das questões apresentadas, sob o ponto de vista energético, o hidrogênio pode ser considerado como um excelente substituto do petróleo, pois chega a ter 2,5 a 3 vezes mais energia que outros combustíveis, como o óleo diesel, porém, sua densidade energética é baixa, em razão da massa específica também ser baixa (RIBEIRO; REAL, 2006, p.48). Essa condição demanda maior volume para se obter a mesma quantidade de energia em comparação, por exemplo, com o diesel. O uso do hidrogênio como combustível apresenta

diversas vantagens, como o fato de sua utilização ser limpa, contudo, ainda existem questões técnicas a serem resolvidas.

Cada vez mais governos, instituições de pesquisas, empresas e pesquisadores estão buscando aprimorar as tecnologias associadas à obtenção, armazenamento, distribuição e uso do hidrogênio. Esses estudos buscam, dentre os vários objetivos definidos, a formação de infra-estrutura e a disponibilização de tecnologia suficiente para atender ao setor de transportes, em especial, o rodoviário. Nesse sentido, diversos são os projetos em todo o mundo com o uso de veículos pesados movidos a hidrogênio.

Esses projetos dividem-se em experiências com veículos equipados com motores de combustão interna movidos a hidrogênio puro, a gás natural misturados ao hidrogênio, *bifuel*, *dual-fuel* e motores elétricos, alimentados a partir de células a hidrogênio. Os motores de combustão interna movidos a hidrogênio ainda precisam superar barreiras técnicas para serem utilizados. Os atuais motores, em razão das características do hidrogênio, apresentam problemas de ignição prematura. Ao ser lançado na câmara de combustão o hidrogênio inicia o processo de ignição antes da geração da centelha, podendo também ocorrer a combustão por dentro do sistema de injeção (ETTC, 2001, p.3-9).

Diversos estudos estão sendo realizados para resolver esse problema. Os resultados apontam em diversas direções, como válvula de exaustão, depósitos de carbono, pirólise do óleo suspenso na câmara de combustão e outras soluções. Esses mesmos motores quando realizam a mistura do hidrogênio com oxigênio, tem como subproduto do processo de combustão água, ou seja, emissão zero de poluentes. Porém, quando misturam hidrogênio ao ar resultam na produção de dióxido de carbono (ETTC, 2001, p.3-17). Nesses casos os veículos deixam de ter a característica de emissão zero e perdem parte de suas vantagens ambientais.

Além do uso dedicado ao hidrogênio, outras experiências com o elemento estão sendo realizadas. Uma delas são os motores capazes de utilizar o hidrogênio ou outros combustíveis, como gasolina, álcool ou diesel, no mesmo veículo. Esse sistema necessita que os combustíveis sejam armazenados separadamente e o uso não seja simultâneo. A vantagem é que mesmo que o hidrogênio acabe o veículo continua funcionando. Outra possibilidade é o uso do hidrogênio misturado ao gás natural, também chamado de *Hythane* (abreviação de *hydrogen* e *methane*). A mistura normalmente ocorre na proporção de 20% de hidrogênio e 80% de gás natural e não requer a realização nos motores a gás natural. Esse método colabora para a redução de aproximadamente 20% das emissões. Misturas em proporções superiores a essa demandam a adaptação dos motores. Com relação aos motores a diesel, o hidrogênio, assim como o gás natural, tem temperatura de auto-ignição

elevada³¹. A temperatura do ar na câmara de combustão não é suficiente para produzir a ignição. A solução mais comum é a utilização de um sistema *dual-fuel*, operando com diesel e hidrogênio. A ignição é iniciada pelo óleo diesel que gera a combustão do hidrogênio lançado na câmara. Esse processo também é conhecido por ignição piloto (ETTC, 2001, p.3-20).

O hidrogênio quando utilizado em motores a combustão interna tem eficiência 25% superior à gasolina, entretanto, o processo de conversão direta da energia química em energia elétrica, sem estágios intermediários térmicos ou mecânicos, utilizando as células de combustível, permite-se atingir eficiência de 60%, quase o dobro do processo térmico (RIBEIRO; REAL, 2006, p.58). Outra forma de utilização do hidrogênio é em células de combustível. As células convertem o hidrogênio em eletricidade, por meio de uma reação química que provoca o fluxo de elétrons entre os eletrodos, conforme a figura 18, tendo como subproduto desse processo, água e calor.

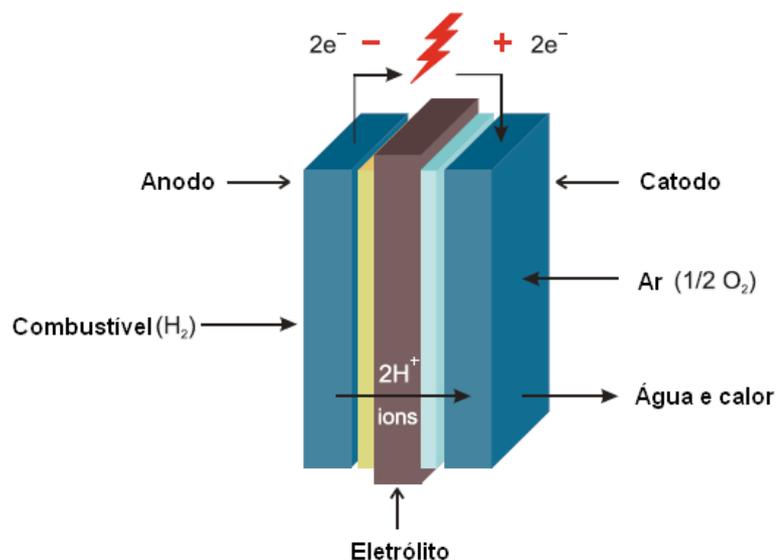


Figura 18 – Operação de uma célula de combustível a hidrogênio.
Fonte: ETTC, 2001, p.4-18.

Independente do processo de conversão de energia, químico ou mecânico, o uso propriamente dito do hidrogênio consiste na etapa final de uma cadeia. Depois de produzido o hidrogênio precisa ser transportado e armazenado antes de sua utilização. O hidrogênio pode ser estocado sob a forma gasosa, líquida ou sólida.

Na forma gasosa o hidrogênio é comprimido por meio de processo adiabático, multistágio ou isotérmico, em pressão de até 800 bar, operação que consome o

³¹ A temperatura de auto-ignição do hidrogênio é de aproximadamente 585°C.
Fonte: RIBEIRO; REAL, 2006, p.51.

equivalente a 13% da energia contida no hidrogênio. Na forma líquida o hidrogênio passa por um processo de liquefação, em um sistema criogênico, sendo submetido a temperaturas inferiores a -253°C para que se mantenha em estado líquido. Esse processo consome o equivalente a 30% do conteúdo energético do volume de hidrogênio liquefeito. Na forma sólida o hidrogênio pode ser estocado em hidratos por meio de processo físicos ou químicos³².

Ambos os métodos ainda estão em fase de desenvolvimento e ainda possuem diversas limitações. No processo físico elas ocorrem pela relação entre o material armazenador e o hidrogênio, algo em torno de 230g de metal para armazenar 2g de hidrogênio. No processo químico em função, principalmente, da energia consumida para estocar e retirar o hidrogênio dos hidretos, chegando em alguns casos a ser superior a energia contida no hidrogênio (BOSSEL; ELIASSON, 2008, p.9-16). Nesse contexto, atualmente os materiais de carbono mais promissores para armazenar hidrogênio são os nanotubos (USDOE, 2002b, p.17), ainda em fase experimental, mas inicialmente mais adequados que os outros materiais.

Apesar dos problemas de armazenamento, a eficiência das células de combustível e as possibilidades decorrentes de seu uso têm estimulado a realização de projetos com veículos leves e pesados em diversas partes do mundo. Um levantamento publicado pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos em 2005 mostrou alguns dos projetos desenvolvidos em diversos países com veículos pesados. Uma pesquisa realizada por Eudy, Chandler e Gikakis, (2007, p.2) demonstrou a continuidade de alguns dos projetos apresentados no quadro 5, o encerramento de outros e o início de novos.

³² No processo físico o hidrogênio é inserido nas estruturas esponjosa do material metálico. Para retirá-lo a estrutura precisa ser aquecida em baixa pressão. No processo químico o hidrogênio é resultante de uma reação química entre materiais, como o hidreto de cálcio e a água, submetidos a altas temperaturas.

Projeto	Local	Tipo de veículo	Combust.	Tipo de célula	Status do projeto	Data de início	Nº no projeto
DaimlerChrysler	UPS fleet in LA & Sacramento, CA, Ann Arbor, MI	Sprinter Van	Hidrogênio	PEM	Demonstração	Ago-04	3
Georgetown (Gen III)	-	30-ft Ônibus	Metanol	Desconhec.	Desenvolvimento	Desconhec.	3
Georgetown/Novabus/Ballard (Gen II)	SunLine, Thousand Palms, CA	40-ft Ônibus	Metanol	PEM	Ativo	Dez-01	1
Georgetown/Novabus/UTC (Gen II)	Washington, DC - WMATA	40-ft Ônibus	Metanol	PAFC	Ativo	1998	1
Gillig/Ballard	VTA, San Jose, CA	40-ft Ônibus	Hidrogênio	PEM	Ativo	Apr-04	3
ISE/UTC (Van Hool)	AC Transit, Oakland, CA	40-ft Ônibus	Hidrogênio	PEM	Autorizado	2005	3
ISE/UTC (Van Hool)	SunLine, Thousand Palms, CA	40-ft Ônibus	Hidrogênio	PEM	Autorizado	2005	1
US Air Force/Enova/High Technology Development Corp.	Hickam Air Force Base, Honolulu, HI	30-ft Ônibus	Hidrogênio	PEM	Ativo	Dez-03	1
US Air Force/Enova/Hydrogenics/HT DC	Hickam Air Force Base, Honolulu, HI	Van	Hidrogênio	PEM	Ativo	Jun/Jul-05	1
UTC/Thor/ISE Research (30-foot)	AC Transit, Oakland, CA	30-ft Ônibus	Hidrogênio	PEM	Completo	Ago-02	1
DaimlerChrysler (EvoBus) Citaro/CUTE project	Europa, várias cidades	40-ft Ônibus	Hidrogênio	PEM	Ativo	Meio-2003	27
DaimlerChrysler (EvoBus) Citaro/ECTOS project	Reykjavik, Iceland	40-ft Ônibus	Hidrogênio	PEM	Ativo	Meio-2003	3
DaimlerChrysler/Hermes Versand	Stuttgart e Hamburg, Alemanha	Van	Hidrogênio	PEM	Ativo	Set-01	1
Hino/Toyota FCHV-ÔNIBUS2 (JHFC Project)	Tóquio -Yokohama	10.5-m Ônibus	Hidrogênio	PEM	Ativo	Demo 2003	5
Irisônibus - City Class	Turin, Itália	12-m Ônibus	Hidrogênio	PEM	Demonstração	Jan-01	1
MAN	Berlin, Copenhagen, Lisboa	12-m Ônibus	Hidrogênio líquido	PEM	Planejamento	2004	Desc.
MAN/Ballard	Aeroporto de Munich	12-m Ônibus	Hidrogênio	PEM	Planejamento	2004	1
Natural Resources Canada/Hydrogenics/New Flyer	Trânsito de Winnipeg (primeiro)	40-ft Ônibus	Hidrogênio	PEM	Planejamento	Meio -2004	1
Purolator Courier/Azure Dynamics/Hydrogenics	Toronto, Canadá	Van	Hidrogênio	PEM	Desenvolvimento	2005	1
Sustainable Transport Energy for Perth (STEP)	Perth Central Area Transit, Australia	40-ft Ônibus	Hidrogênio	PEM	Planejamento	Jul/Ago 2004	3
Tsinghua Univ., Beijing/Beijin Green Power Co.	China	12-m Ônibus	Hidrogênio	PEM	Ativo	Desconhec.	Desc.
Tsinghua Univ/Shanghai Shen-Li High-Tech Co.	Beijing (olimpíadas 2008)	Ônibus	Desconhec.	Desconhec.	Planejamento	Desconhec.	Desc.
UNDP-GEF China (Citaro)	Xangai, Beijing, China	10.5-m Ônibus	Hidrogênio	PEM	Autorizado	Set-05	3
UNDP-GEF Egito	Cairo, Egito	Ônibus	Hidrogênio	Indeterm.	Planejamento	Desconhec.	8
UNDP-GEF Índia	Delhi, Índia	Ônibus	Hidrogênio	Indeterm.	Planejamento	Desconhec.	8
UNDP-GEF México	México City, México	Ônibus	Hidrogênio	Desconhec.	Planejamento	Desconhec.	10
UNDP-GEF Brasil	São Paulo, Brasil	Ônibus	Hidrogênio	Desconhec.	Planejamento	Set-05	10
Volvo/Proton Motor	Berlin, Alemanha	Ônibus double-Dezker	Hidrogênio	PEM	Planejamento	Desconhec.	2

Quadro 3 – Projetos com veículos pesados utilizando células de combustível.
Fonte: adaptado de BARNITT; EUDY, 2005, p.11.

Cada vez mais o hidrogênio tem se tornado objeto de pesquisas como uma opção para o setor de transportes. Além dos fatores ambientais que o coloca em vantagem sobre os demais combustíveis por ter emissão quase zero, o hidrogênio tem se destacado em razão dos bons resultados apresentados nos projetos experimentais. Algumas empresas de transporte dos Estados Unidos já realizaram ou ainda realizam testes experimentais com veículos movidos a hidrogênio, como a Santa Clara VTA, SunLine, AC Transit e a CTTTRANSIT. Os resultados demonstram uma economia significativa em comparação com ônibus a diesel e, em especial, a gás, quando equipados com sistema híbrido. O gráfico 59

mostra o percentual de economia de energia dos ônibus movidos a hidrogênio em comparação com aqueles utilizados como referencial, movidos a diesel e a gás natural, parte dos projetos.

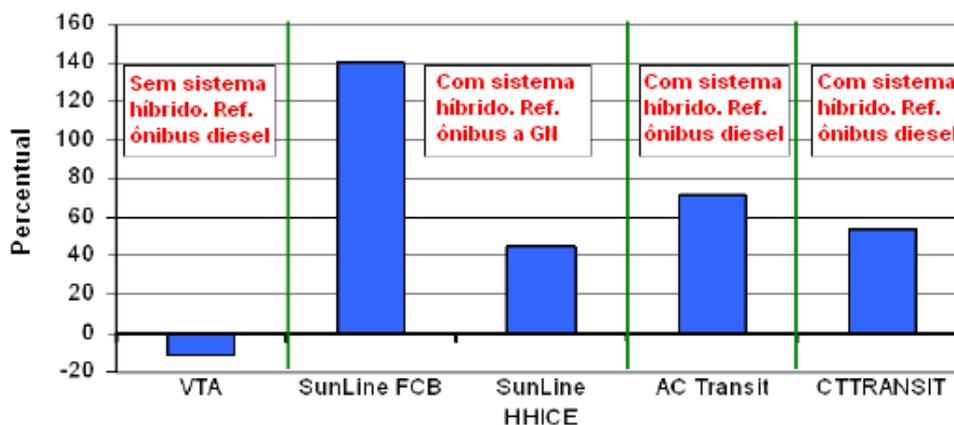


Gráfico 59 – Percentual de economia dos ônibus a hidrogênio em quatro projetos nos Estados Unidos. Fonte: WIPKE *et al.* 2008a, p.16.

As pesquisas com o hidrogênio têm avançado em diversos sentidos. O abastecimento, que antes demandava tempo elevado, agora reduziu para entre 10 e 20 minutos, cerca de 2 kg de hidrogênio por minuto (EUDY; CHANDLER; GIKAKIS, 2007, p.26). O custo das células de combustível, antes extremamente elevado, vem reduzindo, com tendência de chegar aos US\$ 30 por kW em 2015, quase dez vezes menor que no início da atual década (gráfico 60).

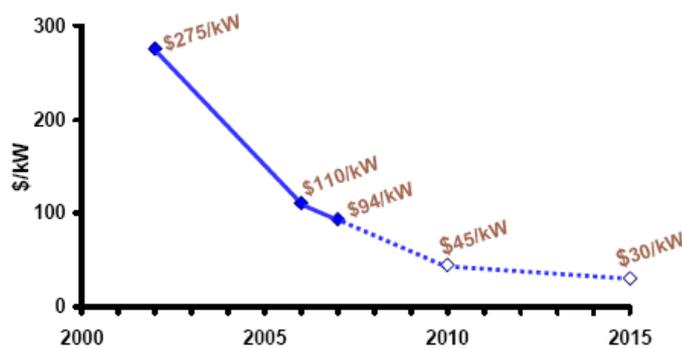


Gráfico 60 – Custo de uma célula automotiva, baseado em uma planta com produção de 500 mil unidades/ano. Fonte: WIPKE *et al.* 2008a, p.12.

No ano de 2007 haviam 20 ônibus em demonstração nos Estados Unidos operando com células de combustível. Desse total dez estavam circulando como parte normal da frota de veículos das empresas de transporte. Para os próximos quatro anos está prevista a entrada em funcionamento de mais 15 ônibus a hidrogênio. O objetivo é obter mais

informações técnicas, documentar, aprender e identificar os desafios para a comercialização e emprego da tecnologia (EUDY; CHANDLER; GIKAKIS, 2007, p.8).

3.1.7. Outros motores

Os motores a combustão interna, sejam ciclo Diesel ou Otto, prevalecem dominantes em quase a totalidade dos veículos leves e pesados em todo o mundo. Com exceção parcial³³ do hidrogênio, todos os demais combustíveis são produzidos e desenvolvidos para uso em motores de combustão. Apesar da grande parcela que utiliza essa tecnologia, existem veículos desenvolvidos, alguns ainda em fase experimental, outros consolidados, com motores alternativos aos de combustão, como os elétricos ou a ar comprimido.

Os motores a ar comprimido ainda apresentam restrições técnicas, principalmente, com relação à potência e autonomia dos veículos. No caso de veículos pesados o problema é ainda maior, pois demandam maior torque para se movimentarem juntamente com o peso dos passageiros ou das cargas. Por essa razão os experimentos com ônibus e caminhões ainda estão em fase inicial e bem distante de fazerem parte de projetos de avaliação de desempenho para a comercialização.

Uma tecnologia mais difundida são os veículos apresentados como contendo motor a ar comprimido, contudo, na realidade o motor central é elétrico, que se utiliza de um motor auxiliar de ar comprimido para promover partidas mais rápidas e eficientes. Em razão do estágio de desenvolvimento dos motores a ar comprimido e da baixa quantidade de experimentos, em especial para o segmento de veículos pesados, eles não farão parte deste estudo.

3.1.7.1. Elétricos

Os motores elétricos representam uma alternativa em substituição aos motores de combustão interna. Surgiram no começo do século passado aplicados aos ônibus chamados de Trólebus e em veículos de pequeno porte movidos a baterias. Oferecem uma série de vantagens em comparação com os motores de combustão interna, como alto torque em baixas velocidades, rápida retomada, pouco ruído, alta eficiência, baixo índice de manutenção e podem facilmente aplicar sistema de freio regenerativo quando estão em processo de desaceleração (EUDY; GIFFORD, 2003, p.13).

³³ Parcial pelo fato do hidrogênio também poder ser usado em motores de combustão interna.

Os motores funcionam com corrente contínua (DC) ou corrente alternada (AC), em voltagens que vão desde 50 a 800 volts (USDOT, 2003, p.15). Um estudo realizado pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos comparou motores de corrente contínua e corrente alternada utilizados em ônibus. Os resultados apontam vantagens e desvantagens para ambos os motores, conforme apresentado no quadro 4.

Motor AC	Motor DC
Transmissão com velocidade única	Transmissão com multi-velocidades
Mais baratos	Mais caros
95% de eficiência em plena carga	85 – 95% de eficiência em plena carga
Motor/controlador/inversor mais caro	Motor/controlador mais barato

Quadro 4 – Comparação entre motores elétricos de corrente contínua e corrente alternada.
Fonte: USDOT, 2003, p.8.

Os motores elétricos funcionam a partir de corrente elétrica gerada por qualquer fonte, desde que atendam aos requisitos mínimos de voltagem e amperagem. Por isso, os veículos que utilizam esses motores podem prover energia de diversas fontes, como células de combustível, baterias, rede elétrica ou células fotovoltaica. Em Adelaide, na Austrália, um ônibus chamado de Tindo entrou em operação nesse ano, funcionando com motor elétrico que é alimentado com baterias 100% carregadas a partir de energia solar. Os painéis ficam na estação armazenando a energia que será fornecida para carregar o veículo quando chegar ao local de recarga (ACC, 2008).

Independente da fonte, quase a totalidade dos veículos equipados com motores elétricos operam com sistema de estocagem de energia por meio de baterias. Os veículos que utilizam somente motores elétricos, sem sistema híbrido, basicamente operam conforme descrito na figura 19. O esquema apresentado representa um veículo alimentado por baterias quando em trânsito e recarregado por alimentação fornecida por rede elétrica de três fases.

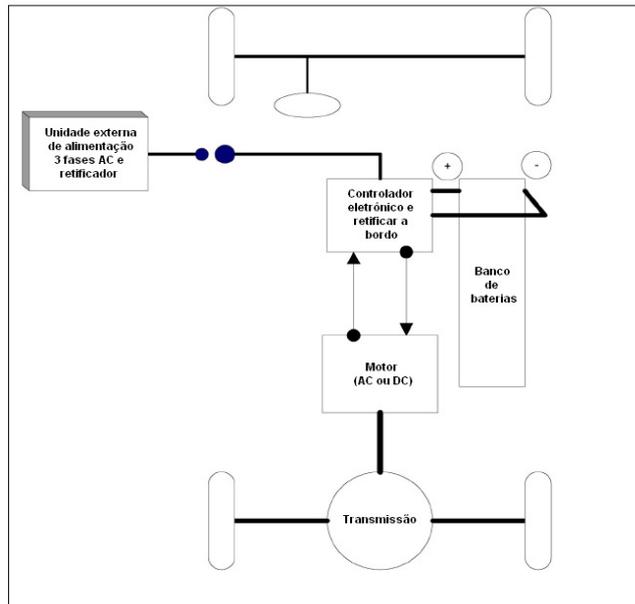


Figura 19 – Esquema básico de um veículo elétrico.
 Fonte: USDOT, 2003, p.3.

No início da década de 1990 o Distrito Metropolitano de Trânsito da cidade de Santa Barbara, no estado da Califórnia, iniciou a operação com ônibus movidos a motores elétricos. Em 2003 a frota chegou a 24 ônibus totalmente elétricos em operação (EUDY; GIFFORD, 2003, p.13). De 2003 até esse ano houve um pequeno decréscimo, para 22 ônibus em operação. No mesmo começo de década, em março de 1993, a *Delco Remy* e a *Allison Transmission*, uma divisão da General Motors, fabricaram um protótipo de um ônibus elétrico. Ele era somente para demonstrações e um instrumento de aprendizado, contudo, as companhias estavam planejando comercializar esses tipos de veículos (RAJASHEKARA, 1994, p.903).

Além dos ônibus, existem caminhões movidos exclusivamente a motores elétricos. A Renault produz um caminhão de médio porte, chamado Midle 120.10 E, movido exclusivamente a baterias e um motor elétrico. O caminhão é utilizado para o transporte de cargas médias. Além da Renault a *Societé des Véhicules Electrique* e a *Futon* produzem protótipos de pequenos caminhões com motores elétricos, movidos exclusivamente com energia fornecida por baterias (CHALLENGE BIBENDUM, 2006, p.46). Esses caminhões basicamente ainda são de comercialização restrita, com poucas unidades em operação no mundo.

Outro tipo de veículo com motor exclusivamente elétrico são os trolleybus, conhecidos no Brasil como trólebus. São ônibus semelhantes aos convencionais, entretanto, operam com motores elétricos, alimentados por corrente elétrica fornecida por uma rede suspensa de cabos aos quais estão conectados. A figura 20, apresentada a seguir, mostra uma rede de cabos e os trólebus conectados a elas.

turbinas no lugar do motor de combustão interna tradicional. As micro turbinas emitem menos poluentes e são mais econômicas. Funcionam com diesel, gás natural e gás liquefeito de petróleo. Alguns veículos produzidos pela Ebus Inc, participam de um programa de demonstração juntamente com a *Indianapolis Transportation Corporation – IndyGo* e a *Knoxville Area Transit – KAT* no Tennessee, Estados Unidos (BARNITT, 2006, p.1).

Os sistemas híbridos podem ser dispostos na forma seriada ou paralela. Em série funcionam da seguinte maneira: o motor de combustão interna coloca em funcionamento um gerador que produz energia para movimentar o motor elétrico, que coloca o veículo em movimento por estar ligado diretamente ao eixo e rodas. Além de fornecer energia para o motor o gerador também fornece carga para as baterias. O motor elétrico quando está em movimento também produz energia para recarregar as baterias. As baterias funcionam como uma fonte suplementar de energia para o motor elétrico (EESI, 2007, p. 2).

Os veículos híbridos também costumam utilizar um sistema chamado de freio regenerativo. Ao acionar o freio, o motor elétrico funciona em movimento contrário, freando o veículo e produzindo energia para as baterias. No sistema híbrido em série, por não estar ligado diretamente ao sistema de tração do veículo, o motor de combustão interna por vezes pode ser desligado, sendo o veículo movimentado pela carga contida nas baterias e nos sistema de recarga. A figura 21 demonstra de forma resumida o esquema de funcionamento de um veículo híbrido em série.

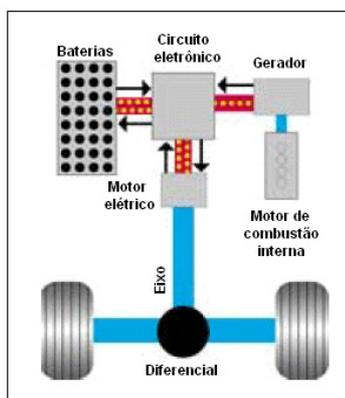


Figura 21 – Sistema híbrido de propulsão com configuração em série.
Fonte: USDOT, 2003, p.5.

Os veículos híbridos em paralelo funcionam com um conceito diferenciado. Os componentes do sistema são quase os mesmos, com exceção do gerador. O sistema paralelo funciona com a seguinte diferença: o motor de combustão interna é ligado diretamente ao sistema de tração do veículo, juntamente com o motor elétrico, ou seja, ambos são utilizados para movimentar o veículo. O motor elétrico é utilizado para os momentos de paradas e arranques no trânsito. Nos momentos de aceleração ambos são

acionados, gerando mais força no arranque do veículo. Em velocidades maiores, como por exemplo, em deslocamentos por rodovias, somente o motor de combustão interna funciona (EESI, 2007, p. 2).

As baterias podem ser carregadas durante os deslocamentos em alta velocidade e nos momentos de frenagem. Assim como na disposição em série, o sistema de freio regenerativo permite gerar energia elétrica para carregar as baterias quando o veículo é freado. A figura 22 apresenta um esquema básico de funcionamento de um veículo com sistema híbrido em paralelo.

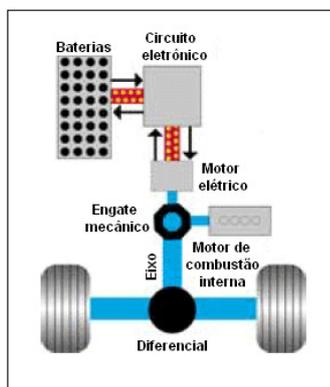


Figura 22 – Sistema híbrido de propulsão com configuração em paralelo.
Fonte: USDOT, 2003, p.5.

Uma tecnologia que está emergindo são os veículos híbrido-elétricos plug-in (*Plug-In Hybrid-Electric Vehicles – PHEV*). Eles possuem a capacidade receber carga externa a partir da rede elétrica e com sistemas mais eficientes de estocagem e geração de energia. Esses veículos podem ter maior autonomia de deslocamento utilizando somente as baterias (SIMPSON, 2006, p.1). Os testes iniciais estão mais voltados aos veículos leves, mas existem projetos experimentais com ônibus (IIT, 2008, p.3). O gráfico 61 mostra o tipo de sistema híbrido³⁵ e o potencial de economia de combustível.

³⁵ O número ao lado da sigla PHEV significa a quantidade de milhas que o veículo consegue se deslocar sem utilizar o motor de combustão interna.

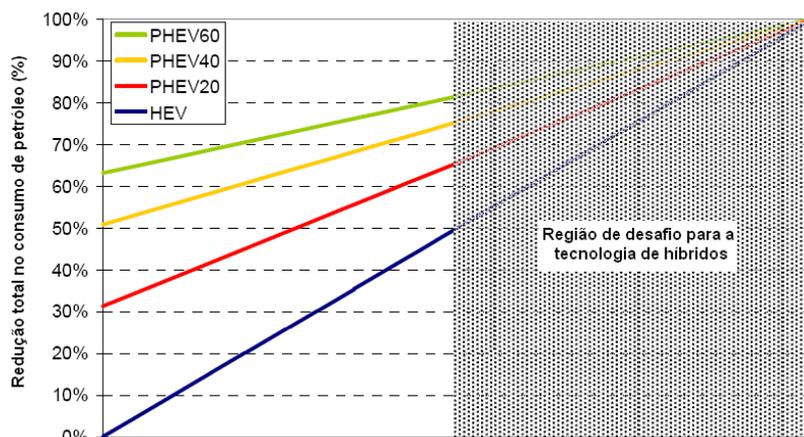


Gráfico 61 – Potencial de economia de combustível por tipo de sistema híbrido.
 Fonte: adaptado de SIMPSON, 2006, p.3.

A tecnologia híbrida apresenta resultados extremamente satisfatórios em relação à economia de combustível e à emissão de poluentes atmosféricos. Testes realizados pela indústria automotiva demonstram reduções de 90% na emissão de material particulado quando comparadas com a de ônibus convencionais sem filtro de material particulado e ônibus híbridos com filtro de material particulado. De acordo com a *Northeast Advanced Vehicle Coalition* (NAVC), os ônibus híbridos emitem de 30 a 40% menos óxido de nitrogênio. Os híbridos emitem menos monóxido de carbono e menos dióxido de carbono, em razão da economia de combustível (EESI, 2007, p. 2).

Um estudo publicado pela *Defense Advanced Research Projects Agency* em 2000 comparou a economia e a emissão de poluentes atmosféricos de ônibus da cidade de Nova York movidos a diesel convencional, diesel sintético e gás natural com ônibus híbridos movidos a diesel convencional, diesel com baixo teor de enxofre e diesel sintético. O resultado demonstrou redução significativa na emissão de poluentes e a economia de combustível nos veículos híbridos, não somente em comparação com aqueles movidos a diesel, mas também em relação aos movidos a gás natural. O gráfico 62 mostra alguns dos resultados obtidos no projeto³⁶.

³⁶ O projeto utilizou os seguintes combustíveis: MossGas – marca de diesel sintético; LS Diesel – *low sulfur* –, diesel com baixa concentração de enxofre; diesel convencional e gás natural.

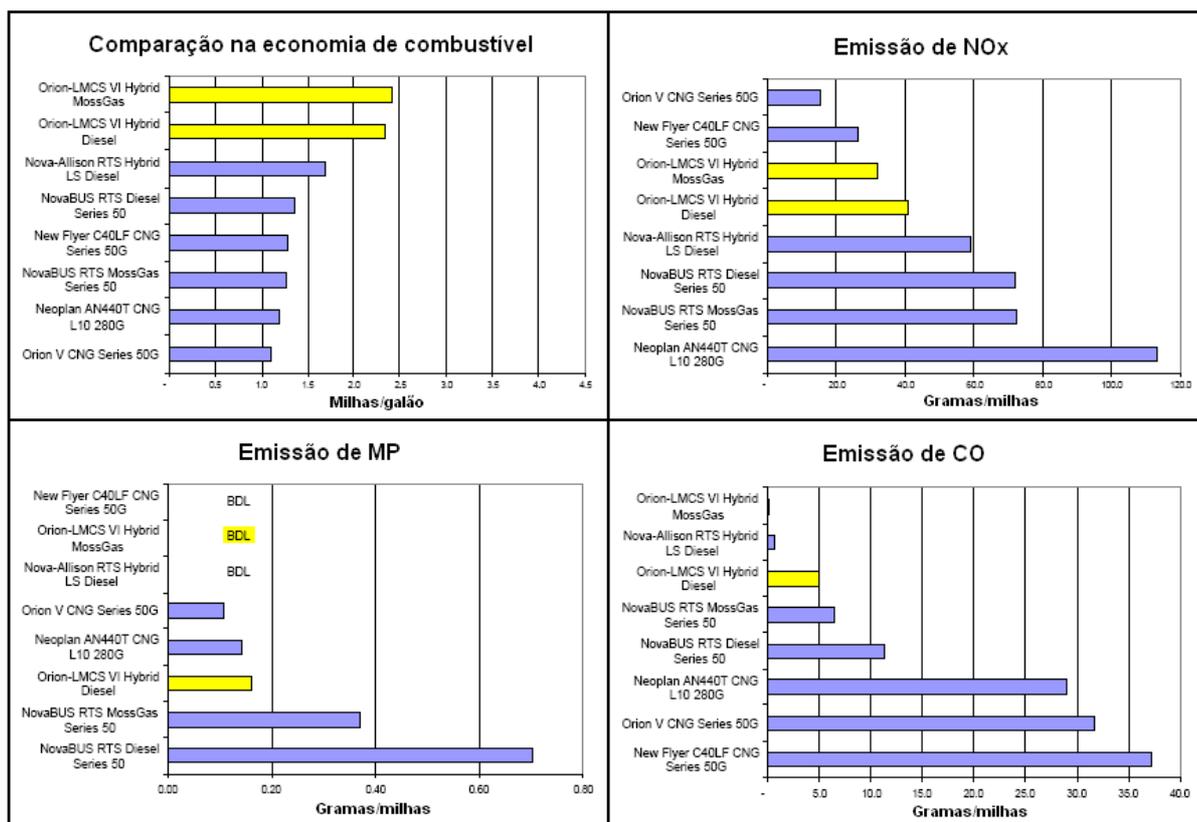


Gráfico 62 – Resultados da comparação entre ônibus da frota de veículos da cidade de Nova York quanto a economia de combustível e emissão de NOx, MP e CO. Fonte: adaptado de NAVC, 2000, p.B-3.

Além dos ônibus híbridos emitirem menos poluentes atmosféricos e serem mais econômicos, eles também oferecem custo de operação menor. Um estudo realizado pelo *National Renewable Energy Laboratory* em Washington com dez ônibus articulados a diesel e outros dez, também articulados, porém, com sistema híbrido, comprovou que estes últimos têm custo de operação 15% menor que os ônibus convencionais³⁷ (CHANDLER; WALKOWICZ, 2006, p.36). Em contrapartida, os híbridos custam aproximadamente US\$ 20 mil a mais que os convencionais. Apesar do preço atual, a tendência é que esse valor seja reduzido com a expansão do mercado (EESI, 2007, p. 5).

A frota de veículos pesados híbridos vem crescendo de forma significativa nos últimos anos, principalmente de ônibus utilizados no transporte público. A maior frota com esse tipo de veículo está na cidade de Nova York, com 500 deles em operação e 850 unidades em processo de RTS compra. Logo depois dos Estados Unidos vem o Canadá, que dispõe da segunda maior frota da América, localizada na cidade de Toronto, com 150 ônibus em início de operação e 560 unidades compradas. Por fim, na terceira posição vem a cidade de São Francisco, na Califórnia, com 86 ônibus em serviço (DAIMLER, 2006, p.6-9).

³⁷ O custo de operação foi definido como o custo com combustível e custo com manutenção.

Além dos ônibus existem caminhões que utilizam sistemas híbridos. Empresas como a FedEx possuem caminhões de médio porte no serviço de entrega com sistema híbrido operando em algumas localidades. As forças armadas americanas estão inserindo em sua frota caminhões com sistemas híbridos. A proporção de caminhões é muito menor que a de ônibus, principalmente em relação aos caminhões pesados, entretanto, de forma geral a frota de veículos pesados híbridos está crescendo em todo o mundo.

3.2. Tecnologias no Brasil

O Brasil possui uma frota circulante de mais de 390 mil ônibus e 1.900 mil caminhões (DENATRAN, 2008), quase que a totalidade movida a diesel. Em algumas localidades, como São Paulo, a emissão de determinados poluentes atmosféricos dos veículos pesados a diesel supera a dos veículos leves movidos por todos os outros combustíveis. Em razão dos materiais propelidos por esses tipos de veículos, crescimento da frota, seus diversos impactos sobre o homem e o meio ambiente e por outros fatores, o Brasil há alguns anos vem desenvolvendo experimentos e projetos com alternativas tecnológicas para reduzir a emissão de poluentes atmosféricos de ônibus e caminhões.

Assim com na revisão sobre as tecnologias em outros países, nesse momento serão apresentadas as tecnologias disponíveis no Brasil, em estágio final de desenvolvimento ou em fase de comercialização, com capacidade de reduzir a emissão de poluentes atmosféricos de ônibus e caminhões. A abordagem das tecnologias será feita como na revisão anterior, focada no uso do diesel e motores com sistemas de redução das emissões, novas alternativas energéticas e novos sistemas de propulsão menos poluentes.

O objetivo é apresentar as alternativas capazes de reduzir as emissões de ônibus e caminhões a diesel ou aquelas aptas a substituírem o diesel ou todo o sistema de propulsão desses veículos, por outras menos poluentes a qual o País possui domínio. As tecnologias suprimidas, em comparação com as descritas em outros países, sejam combustíveis, motores ou sistemas de propulsão, são aquelas que o Brasil não realizou experimentos, seja por organizações nacionais ou internacionais.

3.2.1. O diesel nacional e as tecnologias correlatas

Nos últimos anos a qualidade do diesel fabricado no Brasil melhorou significativamente. O diesel metropolitano até 1997 possuía 5000 partes por milhão de enxofre (LIMA, 2006, p.52). De 1997 a 2006 esse nível caiu dos 5000 para 200 ppm com o lançamento do óleo chamado de Diesel Podium, comercializado em algumas localidades do

País. A redução foi de mais de dez vezes o teor de enxofre contido no ano de 1997 ou exatas vinte e cinco vezes se comparado com o diesel interior, que nessa época era comercializado com 10000 ppm de enxofre.

O Diesel Podium atualmente é comercializado somente em alguns postos de São Paulo, Rio de Janeiro e Paraná (PETROBRAS, 2008f). Os demais postos nas cidades utilizam o diesel com 500 ppm e 2000 ppm no interior. A previsão para a comercialização do diesel com 50 ppm de enxofre estava prevista para o início do ano de 2009, como parte das ações necessárias à atender aos limites estabelecidos na Resolução 315 de 2002 do CONAMA. Entretanto, diante da impossibilidade do cumprimento dos limites, o Ministério Público Federal impetrou ação na justiça, a qual determinou o fornecimento obrigatório do diesel S 50, com 50 ppm de enxofre, em ao menos uma das bombas, a partir de 01 de janeiro de 2009 e a regulamentação do fornecimento pela Agência Nacional do Petróleo no prazo de 30 dias, findando em meados do mês de dezembro de 2008.

Houve impasse e tentativas de adiar o prazo para o cumprimento da resolução do CONAMA, contudo, o Ministro do Meio Ambiente, Carlos Minc, resolveu manter o prazo para janeiro de 2009. Em reunião do CONAMA o ministro afirmou que somente os veículos com motores adaptados para receber o combustível S 50³⁸ serão licenciados e as empresas que descumprirem deverão tratar a questão na justiça (FORMENTI, 2008). A questão aparentemente estava resolvida até que um novo acordo jurídico foi firmado entre os fabricantes de veículos, a Petrobrás, a ANP, o IBAMA, o Ministério Público e outras instituições, para a execução de algumas ações.

Dentre as medidas previstas no acordo, está a inserção gradativa do óleo diesel com baixo teor de enxofre, chamado de S 50, a fabricação dos veículos com motores adequados ao novo combustível e a definição dos novos limites de emissões. O acordo tem como prazo final para o cumprimento de todas as medidas o ano de 2014. Apesar do acordo, a questão pode ainda não estar encerrada devido a movimentos em favor do cumprimento da resolução 315 do CONAMA no prazo previsto.

Sem reduzir o atual índice de enxofre do diesel nacional, além de não conseguir alcançar os limites estabelecidos no PROCONVE, parte das tecnologias de filtragem, em especial as mais eficientes, não pode ser utilizada. Dessa forma, os ônibus e caminhões a diesel se restringem ao uso das poucas soluções que suportam grande volume de enxofre. Nem mesmo a emulsão de água em diesel pode ser utilizada com altas concentrações de enxofre no óleo.

³⁸ S50 é o óleo diesel com 50ppm de enxofre.

3.2.2. MAD

A sigla MAD é o acrônimo de mistura de álcool ao diesel. Trata-se da adição de álcool anidro ao óleo diesel convencional. A mistura pode ocorrer até o percentual de 11%. A cidade de Curitiba foi pioneira na realização de testes com esse tipo de combustível. Foram utilizados 25 ônibus de passageiros de empresas diferentes para operar com a mistura que inicialmente era de 11%, mas foi reduzida para 8%, percentual considerado o ponto ideal em relação ao consumo de combustível e a manutenção da potência do motor (EISENBACH, 2003, p.14). As misturas ocorrem com a adição de um aditivo produzido a partir de óleo vegetal chamado AEP-102, que serve para resolver o problema da impossibilidade de se misturar óleo e álcool.

Os testes foram realizados entre os anos de 1998 e 1999 e resultaram na redução de algumas emissões, constatadas pelos testes de opacidade, na ordem de 40% para o MAD11 e 32% para o MAD8 (EISENBACH, 2003, p.24) e também na perda de potência em 5% (LAURINDO, 2003, p.7). Além da redução na potência existiram outros problemas relacionados ao uso do combustível, como à perda da lubricidade e a redução do ponto de fulgor, que caiu para 16º C no caso da mistura com 8% (NOGUEIRA; PIKMAN, 2002, p.4).

Até o ano de 2003 existiam 20 ônibus ainda em circulação com a mistura, mas com alguns pontos a serem resolvidos, como o aumento do consumo, 4,7% superior em comparação com os veículos que operavam somente com diesel e as questões técnicas de lubricidade e ponto de fulgor.

3.2.3. Combustíveis alternativos

O Brasil é um dos pioneiros no uso de combustíveis alternativos, especialmente do etanol. No transporte rodoviário utilizando ônibus e caminhões o País desenvolveu e desenvolve projetos com o uso de produtos alternativos ao diesel convencional. Alguns desses combustíveis, como o biodiesel, por exemplo, estão consolidados e são comercializados em todo o território nacional. Apesar dos casos bem sucedidos, alguns outros, como o gás natural, mesmo com a utilização pioneira iniciada há muitos anos, o combustível não se consolidou para os veículos pesados.

Nos próximos tópicos serão apresentados os combustíveis alternativos em uso ou que algum dia foram utilizados no Brasil, seja em escala piloto ou comercial. O objetivo é demonstrar os produtos sugeridos como possíveis alternativas ao uso do diesel e, principalmente, capazes de reduzir as emissões de poluentes atmosféricos advindas dos ônibus e caminhões. Serão abordados todos os tipos de combustíveis alternativos, incluindo os renováveis e até mesmo os combustíveis fósseis menos poluentes que o diesel.

3.2.3.1. GNV

Como combustível veicular o gás natural já faz parte da frota nacional de veículos leves. Em localidades como São Paulo, Rio de Janeiro, Belo Horizonte e diversas outras cidades a infra-estrutura de produção, distribuição e armazenamento está pronta e encontra-se em plena operação. O gás natural se estabeleceu de tal forma como combustível veicular, que em meados de 2007 o Brasil contava com a terceira maior frota de mundo de veículos leves movidos a gás natural, só perdendo para a Argentina e o Paquistão, conforme demonstrado na tabela 24.

	País	Veículos a gás	Postos de abast.
1	Argentina	1,650,000	1,400
2	Pakistan	1,550,000	1,606
3	Brazil	1,425,513	1,442
4	Italy	432,900	558
5	India	334,820	321
6	Iran	263,662	179
7	USA	146,876	1,340
8	Colombia	203,292	310
9	China	127,120	355
10	Ukraine	100,000	147

Tabela 24 – Frota mundial de veículos movidos a gás natural, até junho de 2007.
Fonte: IANGV, 2008.

A frota nacional de veículos leves é grande e tende a se expandir, principalmente com as tecnologias *multifuel*. Com relação à frota de ônibus e caminhões movidos a gás natural, apesar do histórico, ela não avançou. Os primeiros testes com o combustível ocorreram no início da década de 1980, em veículos que funcionavam com biogás e diesel. Esses experimentos duraram até o ano de 1986, quando o programa foi desativado em razão do preço do petróleo e da crise econômica vivida pelo País na época (MACHADO; MELO; LASTRES, 2006, p. 15).

Impulsionado pelo Plano Nacional de Gás Natural – PLANGAS, o primeiro ônibus movido a GNV no Brasil entrou em operação na cidade de São Paulo, ainda em fase de testes, no ano de 1987. Aproximadamente quatro anos depois do início dos experimentos, no ano de 1991, o governo municipal promulgou a Lei nº. 10.950, obrigando as empresas de transporte coletivo a substituírem os veículos movidos a diesel por outros a gás natural no prazo máximo de 10 anos, a findar no final de 2001. Cinco anos depois somente 133 ônibus circulavam utilizando o gás natural, menos de 2% da frota (RIBEIRO, 2001, p.21).

Diante dos resultados o governo municipal promulgou a Lei nº. 12.140 de 1996, alterando os prazos para inserção do gás natural. A lei determinava que as empresas prestadoras de serviços de transporte coletivo integrantes do Sistema Municipal de Transporte Coletivo deveriam substituir ou converter os veículos a diesel por outros a gás natural à taxa de 5% nos dois primeiros anos e 10% nos próximos anos, em relação à frota do ano anterior (PREFEITURA DA CIDADE DE SÃO PAULO, 1996). Para o ano de 2000, segundo o Plano de Alteração de Combustíveis, instituído pelo Decreto nº. 36.296 de 1996, a frota de ônibus prevista era de 1.881 veículos, porém, o número real foi de apenas 244 unidades (RCC, 2005).

A cidade do Rio de Janeiro, por meio da Companhia de Transportes Coletivos, chegou a dispor de frota de 150 veículos movidos a gás natural, também estimulada pelo PLANGAS. Com o enfraquecimento do programa a frota foi praticamente extinta. Em São Paulo a situação não foi diferente. Dos 244 ônibus que circulavam em 2000, pouco mais de 40 estavam em operação no ano de 2005, correndo o risco de reduzir ainda mais em razão da retirada por parte da Shell da unidade de compressão da empresa Gatusa, detentora de 30 dos 41 ônibus que ainda circulavam na época (RCC, 2005).

Atualmente os veículos pesados movidos a gás natural praticamente estão extintos, porém, existem intenções de promover o uso desse tipo de ônibus no transporte coletivo urbano e de caminhões, nos chamados Corredores Azuis no Cone Sul, em viagens intermunicipais. Ainda assim os projetos com caminhões estão em estágio de concepção, sem nenhum operando nesses trechos até o momento.

3.2.3.2. H-BIO

O H-BIO é um diesel desenvolvido e produzido pelo Centro de Pesquisas e Desenvolvimento da Petrobrás – CENPES, como parte do Programa de Tecnologias Estratégicas de Refinos. O óleo é o resultado da mistura de óleo diesel e óleo vegetal. Já foram realizados experimentos com misturas de até 30% de óleo vegetal, porém, melhores resultados foram encontrados com misturas de 10% de óleo vegetal para o volume de óleo diesel (PETROBRAS, 2008g).

Apesar do combustível ser elaborado a partir da mistura de óleo vegetal com óleo diesel ele não deve ser confundido com biodiesel. O biodiesel é a mistura de óleo vegetal com o óleo diesel depois que os dois produtos estão prontos, em proporções que vão desde 2 a 5%, no caso brasileiro, ou 100% como na Alemanha. Já o processo de produção do H-BIO consiste na inserção do óleo vegetal durante o processo de produção do óleo diesel,

com acréscimo de hidrogênio. A figura 23 apresenta uma visão resumida dos processos de produção de ambos os combustíveis.

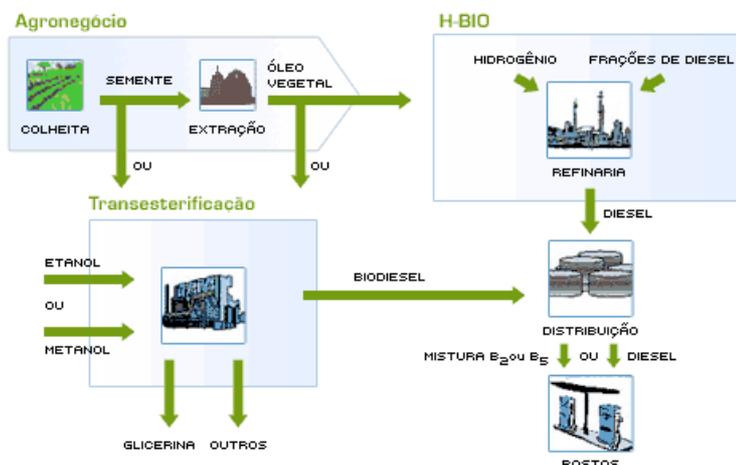


Figura 23 – Processo simplificado de produção do biodiesel e do H-BIO.
Fone: PETROBRAS, 2008g.

O combustível apresenta diversas vantagens em relação ao diesel convencional. O processo de produção não gera resíduos para descarte, permite o uso de variados tipos de óleos vegetais e reduz o nível de enxofre contido no óleo diesel. Sob o ponto de vista dos usuários a vantagem é que o combustível não demanda modificações nos tradicionais motores movidos a diesel.

Em 2006 a Petrobrás planejava implantar a produção do H-BIO no ano seguinte em três refinarias. A expectativa era de produzir o combustível em cinco refinarias até o final do ano de 2008. No segundo semestre de 2007 a empresa parou a produção do H-BIO em razão da alta do preço do óleo de soja, insumo utilizado no processo de produção do combustível. Mesmo diante da paralisação a empresa planeja produzir 425 milhões de litros de H-BIO até o final do ano de 2008 e 1,6 bilhão no ano de 2012, com investimento de US\$ 60 milhões (PAMPLONA, 2007).

O combustível ainda está em fase de adaptações para o processo de produção e ainda aguarda para entrar no mercado. Sua divulgação foi antecipada, até mesmo antes de ser obtida a patente do produto, em razão dos problemas com o fornecimento do gás natural da Bolívia e para atender ao mercado produtor de soja e de seu respectivo óleo (BIODIESELBR, 2008).

3.2.3.3. Biodiesel

O biodiesel é um combustível consolidado no Brasil, com infra-estrutura para produção, distribuição e comercialização do produto. O atual percentual de 3% de mistura obrigatória no diesel convencional representou um aumento no percentual mínimo previsto em lei, que era de 2% até o ano de 2012. A partir de 2013 a determinação legal é de aumentar a mistura para 5%, percentual máximo previsto para o combustível, entretanto, existe a possibilidade do governo antecipar esse percentual, condição que dependerá da capacidade de produção.

A entrada do combustível na matriz energética foi relativamente rápida. Em pouco tempo, algo em torno de meses, o governo conseguiu inseri-lo como mistura obrigatório ao diesel convencional que é comercializado no País. Atualmente existem mais de 40 empresas autorizadas pela ANP a produzirem o biodiesel em sua forma pura, o chamado B100 (ANP, 2008). A quantidade de empresas vem crescendo juntamente com o volume da produção e da demanda pelo biocombustível.

O biodiesel não é novo no Brasil. Experimentos com óleo vegetal e com o próprio biodiesel foram realizados no País há algumas décadas, inclusive com a patente brasileira do combustível pelo engenheiro Expedito Parente. Mesmo com esses progressos, o combustível nunca havia alcançado o atual patamar em termos de produção e consumo. Apesar do constante crescimento do mercado produtor e consumidor, a mistura ainda tem caráter bastante restrito por diversas razões, dentre elas as questões técnicas. Estima-se que até o percentual de 5%, além dos motores não demandarem alterações, o uso não compromete o desempenho dos veículos, inclusive sendo garantido pelos fabricantes dos motores a diesel.

A cidade de Curitiba iniciou no final da década de 1990 experimentos com ônibus movidos a B20. Foram 20 veículos em um projeto que envolveu a TECPAR, URBS, Viação Santo Antônio, NBF ASA e a Secretaria Municipal de Meio Ambiente. Houve aumento no consumo em 1,94% dos veículos que utilizavam a mistura B20 e aumento no custo do combustível em 26,6%. Os resultados das emissões foram positivos, contudo, a avaliação das emissões foi restrita a medição do nº. BOSH de fumaça e a medição da fumaça por opacidade. Houve redução de 18,49% no teste BOSH e 35,82% no teste de opacidade (EISENBACH, 2003, p.10).

Na atualidade, a cidade do Rio de Janeiro, em uma parceria celebrada entre a Secretaria de Transportes, a Federação das Empresas de Transportes de Passageiros do Estado do Rio de Janeiro (Fetranspor), a BR Distribuidora e as montadoras Mercedes-Benz e Volkswagen, antecipou a mistura de 5% de biodiesel ao diesel convencional e colocou o combustível em uso para parte da frota de ônibus. O objetivo era encerrar o ano de 2008 com toda a frota de aproximadamente 18 mil ônibus operando com a mistura (REVISTA TECHNIBUS, 2007). Além da iniciativa pioneira, existem planos para utilizar o biodiesel na

proporção B20 em 2011, 2014 e 2016, ano de eventos esportivos de grande porte. A Secretaria de Transportes do Rio de Janeiro, a Fetranspor e a BR Distribuidora estão discutindo os pontos necessários à utilização da mistura. Depois de definidos a Fetranspor solicitará autorização a ANP para o uso do B20 na frota de ônibus da cidade (GOVERNO DO RIO DE JANEIRO, 2008).

Outras instituições e cidades têm planos de ampliar o uso do biodiesel chegando a B100, como a cidade de Curitiba e a INFRAERO, que pretende utilizar a mistura B20 ainda esse ano em seus veículos, B50 no próximo ano e chegar ao B100 a partir de 2010 (AGÊNCIA ESTADO, 2008). Mesmo diante dos resultados positivos em relação ao uso do biodiesel no Brasil, sua participação no mercado de combustíveis ainda não é direta. Diferente da Alemanha, por exemplo, que opera com o biodiesel puro, diretamente como combustível, no Brasil o biodiesel ainda é considerado como um aditivo ao óleo diesel convencional, assim como o etanol foi por muitos anos para a gasolina.

3.2.3.4. Etanol

A experiência do Brasil com o uso do etanol em veículos pesados teve início no ano de 1979. Em 1984 o País alcançou o ápice da produção de veículos pesados, com 2605 unidades produzidas, sendo 2590 caminhões e 15 ônibus (ANFAVEA, 2008, p. 58). Esses veículos em grande parte eram destinados para uso no próprio setor sucroalcooleiro. Com o enfraquecimento do Proálcool a comercialização de veículos seguiu na mesma direção. No primeiro ano da década de 1990 o País não produzia mais nenhum veículo pesado movido a etanol.

A produção de álcool assim como de veículos de todos os portes movidos pelo combustível ficou paralisada durante a década de 1990, somente sendo retomada com o desenvolvimento da tecnologia *flexfuel*. O crescimento da frota de veículos a álcool, associado ao destaque à questão ambiental e à expansão do setor agrícola constituíram o cenário adequado para a retomada da produção do etanol em grande escala no Brasil. Juntamente com o crescimento do volume de fabricação do combustível e o interesse do governo brasileiro em difundir-lo como uma commodity, alguns outros projetos ligados ao uso do produto foram retomados.

Um deles destina-se a utilização do álcool em veículos pesados e está sendo desenvolvido pelo Centro Nacional de Referência em Biomassa – CENBIO e o Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo. O experimento consiste basicamente no uso de um ônibus movido a etanol. O experimento faz parte de um projeto denominado de BEST (*BioEthanol for Sustainable Transport*), operado em outras cidades do mundo, que

estimula o uso do etanol como fonte alternativa de combustível. O motor utilizado no veículo é produzido pela Scania na Suécia – fabricado em escala comercial para aquele mercado interno –, e recebeu a carroceria no Brasil (BERNARDES, 2008).

O ônibus entrou em operação em dezembro no corredor ABD, passando pelas linhas do corredor da EMTU/SP que liga o bairro de São Mateus ao Jabaquara, percorrendo os municípios de Mauá, Santo André, São Bernardo e Diadema. O veículo apresenta algumas vantagens e desvantagens em sua operação, como a redução na emissão de poluentes e o menor custo do combustível, cerca de 50% inferior ao diesel. Em contrapartida, o veículo consome aproximadamente 60% a mais de etanol do que consumiria de diesel para percorrer a mesma distância. Mesmo com o preço inferior do álcool ainda existe um déficit econômico. Além disso, para poder funcionar com motor do ciclo Diesel, com taxa de compressão de 28:1, o combustível demanda a mistura de um aditivo para produzir a ignição, composto importado, produzido por empresa sueca (STMSP, 2007) e com restrições de comercialização em razão do perigo da manipulação do produto.

3.2.3.5. Hidrogênio

Atualmente o Brasil possui dois projetos de ônibus movidos a hidrogênio em andamento. Um deles é conduzido pela Empresa Metropolitana de Transportes Urbanos – EMTU e realizado na cidade de São Bernardo do Campo, região metropolitana de São Paulo. Conta com a participação de outras instituições, na gestão, operação e financiamento, como o Ministério de Minas e Energia, o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento – PNUD, o *Global Environmentl Facility* – GEF, a Financiadora de Estudos e Projetos – FINEP e diversas outras.

O projeto denominado de BRA – 99/G32 foi iniciado no segundo trimestre de 2003 com as fases de concepção técnica, sendo o encerramento da fase de pré-operação estimada para o final de 2008. Espera-se colocar em circulação até 2010 cinco ônibus a hidrogênio em operação no corredor metropolitano da região metropolitana de São Paulo (EMTU, 2008, p.5). O primeiro ônibus está na fase final de testes com o fabricante e deverá entrar em operação em fase experimental no começo do próximo ano, com provável previsão de uso público no segundo trimestre de 2009.

O ônibus, um Padron de 12 metros, com três portas, capacidade para 90 passageiros e com autonomia de 300 km, operará com dois sistemas de células de combustível, banco de baterias de lítio, dois motores elétricos e com sistema de freio regenerativo (EMTU, 2008, p.11). O abastecimento do veículo será realizado na garagem da EMTU a partir de sistema de obtenção de hidrogênio por meio de eletrólise.

O outro projeto é conduzido pelo Laboratório de Hidrogênio da COPPE/UFRJ. A intenção da instituição é colocar o ônibus em operação ainda este ano, após a chegada de todas as partes, que serão montadas no próprio laboratório. Inicialmente o veículo funcionará no campus da universidade por um período experimental, mas a pretensão é expandir o projeto para uso com empresas de transporte de passageiros.

Trata-se de um veículo padrão, que operará com banco de baterias, células do tipo PEM e sistema de freio regenerativo. O ônibus será abastecido em unidade da Petrobras, localizada dentro do próprio campus da universidade. Dentre as tecnologias utilizadas no veículo, algumas delas foram desenvolvidas ou aprimoradas pelo próprio laboratório de Hidrogênio da UFRJ.

3.2.4. Além dos motores de combustão interna

Além dos tradicionais motores de combustão interna o Brasil possui uma pequena frota de ônibus circulando com motores elétricos. Esses veículos operam com sistema híbrido ou dedicado, como no caso dos trólebus. Apesar dos benefícios ambientais, com relação à emissão de poluentes, a frota com esse tipo de veículos não tem crescido, ao contrário, no caso dos trólebus a quantidade de ônibus em operação vem caindo de forma significativa, principalmente na última década.

A seguir serão apresentados alguns casos de sistemas de propulsão alternativos ainda em operação no Brasil e as iniciativas em desenvolvimento. A abordagem será sobre os ônibus elétricos, conhecidos por trólebus e os veículos híbridos com motores a combustão interna operados com qualquer tipo de combustível.

3.2.4.1. Trólebus

A experiência nacional com ônibus trólebus foi iniciada no final da década de 1940 na cidade de São Paulo. Os veículos foram importados até a década de 1960, quando a indústria nacional começou a produzir ônibus com esse sistema (ITDP, 2008, p.10). Durante aproximadamente 25 anos a frota de ônibus trólebus em São Paulo se manteve estável, com aproximadamente 200 unidades, porém, no início da década de 1980 a quantidade de veículos cresceu de forma significativa, chegando a quase 500 unidades. A partir do ano 2000 a trajetória de crescimento parou e houve uma queda abrupta, conforme pode ser observado no gráfico 63.

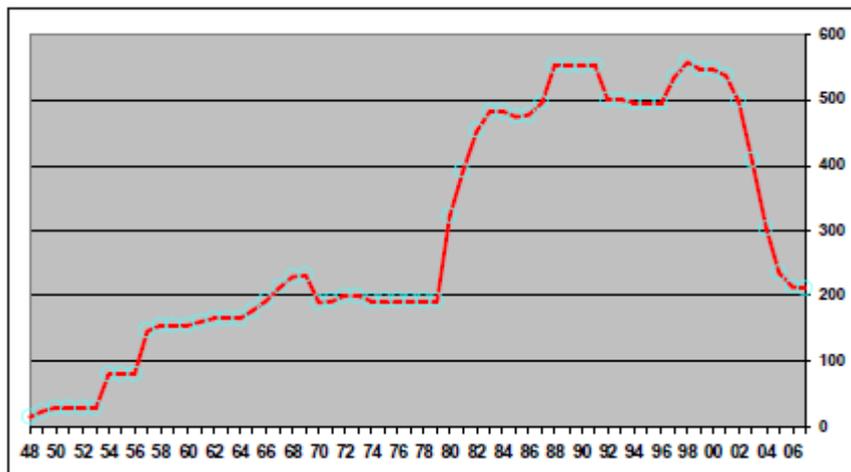


Gráfico 63 – Frota de trólebus em operação na cidade de São Paulo de 1948 a 2007.
 Fonte: ITDP, 2008, p.10.

Os ônibus trólebus entraram em operação em outras cidades além de São Paulo, como, por exemplo, Santos, Rio de Janeiro e Recife. A frota nacional desse tipo de veículos chegou a aproximadamente 700 unidades (ANTP, 1999), mas sofreu redução, acompanhando o movimento apresentado na cidade de São Paulo. Apesar dos avanços nos trólebus, que passaram a dispor de motores de corrente alternada, com melhor desempenho quando comparados com os de corrente contínua, banco de baterias que lhe permitiram autonomia de 3 km ou sistemas híbridos, com pequenos motores a combustão, a quantidade desses veículos em operação ainda é muito pequena.

Diante das ampliações previstas, como a eletrificação total do corredor metropolitano ABD (ligando São Matheus ao Jabaquara, na cidade de São Paulo), a frota de trólebus em operação no corredor poderá aumentar, porém, ainda assim, um aumento pouco significativo se comparado aos ônibus convencionais a diesel. Outro fator favorável é a diminuição no preço do veículo. Os trólebus mais antigos custavam cerca de R\$ 650 mil, mas tiveram o valor reduzido para aproximadamente R\$ 470 mil, uma economia significativa de aproximadamente 28%.

3.2.4.2. Híbridos

O Brasil possui uma pequena frota de ônibus híbridos em circulação, aproximadamente 50 unidades. O primeiro veículo entrou em operação em 1999, introduzido pela empresa EletraBus na cidade de São Paulo, considerado como um projeto pioneiro em termos mundiais (COSTA, 2008). Quase que a totalidades desses veículos estão em operação na região metropolitana de São Paulo. Atualmente eles são produzidos e comercializados por empresas nacionais e operam com sistema diesel. Outros ônibus com

sistema híbrido movido por motores a GNV e etanol estão sendo desenvolvidos tanto por empresas nacionais como pelas multinacionais, para operação no mercado nacional.

Os híbridos comercializados no País têm preço cerca de 50% superior a um convencional a diesel, em contrapartida, a economia de combustível pode chegar a aproximadamente 15 a 25%, a depender do percurso realizado. Quanto à vida útil do ônibus, pode chegar a trinta anos, prazo três vezes maior que a de um veículo a diesel. Com relação à redução das emissões de material particulado, pode alcançar os 90% (COSTA, 2008). Normalmente os veículos nacionais operam com sistema de propulsão em série, ou seja, o motor a combustão aciona o elétrico. Uma das vantagens do sistema é que quando o veículo está parado e entra em movimento, somente o motor elétrico é acionado, evitando a emissão de poluentes. Apesar das vantagens apresentadas e do Brasil deter a tecnologia para a produção desse tipo de veículo, o uso de híbridos ainda é pequeno, a taxa de crescimento baixa e restrita aos ônibus.

Essa situação está presente não somente no caso desses veículos, mas também em outros tipos de tecnologias redutoras das emissões disponíveis ao uso no Brasil. A descrição anterior dos experimentos e testes realizados comprova que o Brasil dispõe das tecnologias necessárias para reduzir as emissões de poluentes atmosféricos de ônibus e caminhões. O grau de aprimoramento técnico e a viabilidade ambiental e econômica variam de acordo com cada uma delas, contudo, algumas estão aptas a ocuparem parte do mercado. O Brasil não tem projetos e experimentos com todas as tecnologias disponíveis em outros países, porém, dispõe de recursos necessários para adquirir ou desenvolver algumas delas.

O atual estágio de desenvolvimento nacional comprova que a falta de recursos tecnológicos não é o grande problema do País. A premissa básica que consiste na disponibilidade da tecnologia está presente. Essa condição permite inferir que existem outros fatores que incidem sobre o uso de tecnologias, além de sua disponibilidade. As possíveis questões que estão por trás da produção e comercialização de veículos pesados com combustíveis e tecnologias alternativas menos poluentes serão abordadas de forma detalhada no capítulo a seguir.

4. FATORES INCIDENTES

O desenvolvimento e a inserção de tecnologias em qualquer segmento normalmente são atividades complexas, que demandam análises técnicas, econômicas, culturais e de outras naturezas. A nova tecnologia costuma se deparar com alguns fatores que dificultam e, às vezes, impedem seu desenvolvimento, produção em escala comercial e uso, tanto em dimensão global quanto local. Em alguns casos pode-se observar a ausência de fatores que atuam como barreira. Essa condição não significa que as tecnologias serão utilizadas. Na realidade a inércia ou a ausência de ações também são pontos responsáveis pela não entrada da tecnologia no mercado.

Essa situação, comum aos segmentos de alta tecnologia, também está presente no setor de transporte rodoviário. O óleo diesel continua sendo há décadas o principal combustível utilizado nos veículos pesados, em especial, nos ônibus e caminhões, em motores concebidos no começo do século passado. Os avanços nesses motores e nos combustíveis ao longo dos anos são inquestionáveis. Os índices de emissões por veículos apresentaram reduções significativas, assim como houve aumento da eficiência, contudo, o princípio tecnológico dos motores e combustíveis ainda é o mesmo.

Mesmo diante dos avanços os motores a diesel utilizado em veículos pesados no Brasil poluem muito mais quando comparados aos europeus e americanos, em especial aqueles que aplicam tecnologias de pós-tratamento ou combustíveis alternativos. No Brasil os ônibus e caminhões são responsáveis pela emissão de gases de efeito estufa e outros poluentes nocivos ao meio ambiente e a saúde humana. Existem diversas tecnologias para minimizar as emissões e alternativas com potencial de substituição imediata de parte do consumo de óleo diesel e dos motores de combustão interna, entretanto, mesmo diante dessas possibilidades, poucas transformações ocorreram no segmento de veículos pesados no Brasil.

Entender os fatores que incidem sobre o uso de tecnologias destinadas a reduzir as emissões de poluentes atmosféricos de ônibus e caminhões no País e a dinâmica desse processo é o objetivo deste capítulo. Com esse propósito serão apresentados os fatores identificados a partir de pesquisas em diversas publicações e da percepção dos especialistas consultados. Tomando como base o levantamento bibliográfico e a opinião das pessoas entrevistadas, os fatores serão comparados com aqueles demonstrados em um estudo semelhante realizado pelo Laboratório de Energias Renováveis nos Estados Unidos. Por fim serão tecidas algumas considerações a respeito do levantamento e apresentada a percepção do autor diante dos resultados encontrados, com as possíveis falhas e vies presentes nesse tipo de pesquisa.

4.1. Fatores segundo os entrevistados e a literatura

Os fatores que dificultam ou impedem a inserção no mercado nacional de tecnologias menos poluentes para ônibus e caminhões são os mais variados possíveis. Uma das razões para essa gama de opções está na complexidade do tema e na perspectiva de compreensão dos atores envolvidos nesse processo. O desenvolvimento, comercialização e uso de tecnologias envolve pesquisadores, fabricantes, transportadores, usuários, governos e muitas outras instituições e atores, com interesses distintos e por vezes conflitantes.

Além disso, esses fatores mudam com relativa frequência. Aquilo que era um problema no passado pode deixar de ser no presente, assim como novos outros poderão surgir. Diante dessa dinâmica, tendo como objetivo apresentar uma visão contemporânea e completa do problema, os fatores foram identificados a partir da percepção de diversos autores, expressas em publicações como livros, documentos, relatórios e artigos e a partir da compreensão de especialistas ambientais, em transportes e energia.

O levantamento bibliográfico ocorreu em material publicado no Brasil e, principalmente no exterior, devido a pouca quantidade de textos nacionais a respeito do tema. Algumas publicações utilizadas abordaram fatores relacionados não somente aos ônibus e caminhões, mas a todos os demais veículos rodoviários. Essas publicações fizeram parte do trabalho porque tratam das tecnologias e problemas comuns, aplicados, inclusive, aos veículos pesados. Quanto aos especialistas, eles opinaram a partir de instrumento de coleta de dados, apresentado nos apêndices, aplicados durante entrevistas realizadas diretamente com o autor, por meio de contato telefônico ou preenchido por e-mail. Nesse caso, com o propósito de focar o estudo, as entrevistas foram voltadas exclusivamente para os veículos pesados.

Os fatores identificados são todos aqueles que, de alguma forma, dificultam ou impedem o uso, em escala comercial, de tecnologias menos poluentes para ônibus e caminhões no País. O termo tecnologia aplicado no trabalho toma por conceito aquele apresentado por Sáenz e Garcia Capote (2006, p.50), que a define como sendo as “normas e especificações relativas à composição, configuração, propriedades ou desenho mecânico, assim como dos requisitos de qualidade de um bem”. Esse conceito é destinado a definir a tecnologia de produtos, ou seja, um bem que recebeu de alguma forma, conhecimento, científico ou empírico, para ser produzido. Trata-se daqueles bens que são o resultado de uma transformação, um produto, excluindo os bens *in natura*.

Fazem parte do termo **tecnologia** para fins deste trabalho os combustíveis, aditivos, filtros, motores, sistemas de propulsão e qualquer outro tipo de produto capaz de reduzir, de forma direta, as emissões de ônibus e caminhões, não sendo discutido o ciclo de vida dos produtos. As tecnologias destinadas a reduzir o consumo de combustíveis, como as

melhorias aerodinâmicas, redução de atritos e peso, ou qualquer outra com o mesmo propósito, não fazem parte do estudo. Apesar da aplicação desse tipo de tecnologia resultar na redução das emissões, considerando a razão km percorrido versus emissões, quando analisada a razão litro de combustível versus emissões ela permanece a mesma.

4.1.1. Literatura

O levantamento dos fatores que dificultam ou impedem a entrada de tecnologias apresentado nos variados tipos de publicação tomou por base as alternativas apresentadas no capítulo anterior, tanto no Brasil como no mundo. Ao analisar os fatores é possível perceber que alguns estão diretamente ligados a um tipo específico de tecnologia, seja um combustível ou um sistema de filtragem, já outros são mais amplos, se aplicam a vários outros tipos, como, por exemplo, o fator custo, indicado em muitos estudos como um elemento impeditivo ao uso de combustíveis, filtros e outras alternativas.

O objetivo não é apresentar os fatores separados por tecnologia, mas aqueles citados para o caso de uso de diversas delas. Por essa razão alguns deles são descritos tomando como referência a aplicação em diversas tecnologias. Dentre os fatores mencionados, alguns estão mais presentes na literatura consultada, conseqüentemente são mais exemplificados e possuem mais citações, porém, a quantidade de referências não necessariamente implica em maior relevância ou impacto. Todos os aqueles encontrados e considerados comuns, ou seja, que se aplicam ao caso de mais de uma tecnologia, foram considerados aptos, partindo da premissa que o estudo não avaliou o impacto ou grau de relevância de cada um deles.

Alguns desses fatores foram agrupados, considerando que se tratam da mesma coisa, apesar de originalmente serem apresentados e descritos de maneira diferente pelos autores. Nesse caso o critério de agrupamento foi subjetivo, tomando como base a semelhança e a coerência da apresentação. Outros foram apresentados conforme estão na literatura, sem alterações de formato. Apesar dos fatores serem passíveis de maior aglomeração ou desdobramento, variando de acordo com a perspectiva de quem os interpreta, o objetivo maior foi manter a idéia original dos autores. A seguir a apresentação dos fatores que dificultam ou impedem o uso de tecnologias menos poluentes, segundo os diversos autores consultados.

4.1.1.1. Baixo preço do petróleo

O preço do petróleo foi apontado como um dos fatores que dificultam a entrada de novas alternativas tecnológicas, em especial as energéticas. Segundo Ribeiro (2002, p.59),

durante o seminário Barreiras na Implantação de Alternativas Energéticas para o Transporte Rodoviário no Brasil, realizado no ano de 2001, os analistas apontaram que o principal motivo da redução dos recursos aplicados em alternativas energéticas para o transporte rodoviário foi o baixo preço do petróleo. Para Yergin (1992, p.439), o baixo preço do petróleo foi responsável pelo fim de pesquisas em energias alternativas e dos combustíveis sintéticos.

A inserção de uma tecnologia menos poluente, no caso um combustível alternativo, enfrenta uma barreira natural quando o preço do petróleo está baixo. O preço da alternativa, normalmente, deverá ser igual ou inferior ao do combustível obtido a partir do petróleo para que seja competitivo e consumido em larga escala. Por essa razão, quanto mais alto for o preço dos combustíveis fósseis, mais competitivas serão as demais alternativas (IPCC, 2007, p. 22). Os combustíveis alternativos dependem do futuro do preço do petróleo (CALIFORNIA ENERGY COMMISSION; CALIFORNIA AIR RESOURCES BOARD, 2007, p.71) para ganharem mais espaço no mercado.

4.1.1.2. Custo elevado de produção da tecnologia

Outro fator apresentado na literatura trata do custo. Em razão do termo custo ser algo genérico, aqui ele será chamado de custo de produção. Trata-se do valor de aquisição da tecnologia, o preço a qual é disponibilizada no mercado para compra. Quando se fala em combustíveis esse fator tem relação direta com o preço do petróleo, citado anteriormente, porém, o custo de produção não se aplica somente as alternativas energéticas. Ele é um fator determinante também para as tecnologias que não competem com o petróleo, como alguns motores e sistemas de pós-tratamento. Se o preço dessas tecnologias for além daquilo que existe no mercado ou acima do que o usuário está disposto a pagar, certamente esse poderá ser um fator restritivo.

Segundo relatório das Nações Unidas, a principal barreira para o uso de outras energias está associada ao custo (UNDP, 2000, p.228). O senador americano Orrin Hatch afirmou que apesar dos avanços tecnológicos, umas das três grandes barreiras de mercado que ainda permanece, é o custo dos combustíveis alternativos (AMERICAN METHANOL INSTITUTE, 2001, p.46). Wipke *et al.* (2008b, p.3) também afirma ser esse o problema, referindo-se ao hidrogênio. Nesse caso o problema do custo pode ser agravado em razão da forma de produção do hidrogênio. O combustível é considerado pouco competitivo se obtido de determinadas fontes renováveis, principalmente pelos diversos estágios de conversão, como a geração de eletricidade para transformar em hidrogênio, para depois ser convertido novamente em eletricidade (NATIONAL RESEARCH COUNCIL; NATIONAL

ACADEMY OF ENGINEERING, 2004, p.117). Não sendo competitivos com os derivados do petróleo, como no caso do biodiesel ou do diesel renovável, que são mais caros que o diesel convencional (WGA, 2008, p14), a inserção desses produtos no mercado enfrentará grandes barreiras.

O custo é um fator que não está associado somente às fontes de energia, mas também aos sistemas de propulsão, motores e diversas outras tecnologias de redução de emissões, como mencionado. As células de combustível são partes que enfrentam barreiras em razão de seu custo (YACOBUCCI, 2004, p.7). Segundo o *U.S. Department of Energy* (2003a, p.39), o custo é uma barreira para todos os tipos de células de combustível em suas diversas aplicações, em especial para o setor de transportes. Enquanto o custo da energia em veículos de célula de combustível varia entre US\$ 195-32, em motores de combustão interna ele está entre US\$ 25-325. Segundo Sampaio (2001, p.186) “apesar da eficiência energética das pilhas a combustível [...] a competitividade econômica dessa tecnologia continua sendo uma barreira para sua implantação”. No caso do hidrogênio, além das células, as baterias também representam um problema, pois tornam o custo da eletricidade mais cara (WGA, 2008, p.15). As baterias, comuns em veículos híbridos ou a hidrogênio, segundo Ribeiro *et al.* (2007, p.340) precisam ter maior eficiência e menor custo.

O preço das novas tecnologias deve não somente ser competitivo em comparação com as tecnologias já inseridas no mercado, mas acima de tudo, precisa ser viável economicamente. No caso da inviabilidade, quando seu custo de produção é extremamente superior aos produtos substitutos ou além daquilo que os consumidores estão dispostos a pagar, a possibilidade de uso da tecnologia é muito baixa. Um exemplo de tecnologia economicamente inviável é o ônibus a hidrogênio (ver tabela 25). A diferença entre o custo de um ônibus a hidrogênio e um convencional a diesel é quase dez vezes maior.

Tecnologia	Custo aproximado em dólares
Ônibus padrão a diesel (40-ft ³⁹ /piso baixo)	328.000
Ônibus a GNV (40-ft/piso baixo)	395.000
Ônibus híbrido (40-ft/piso baixo)	483.000
Ônibus híbrido (22-ft)	284.000
Ônibus elétrico a bateria (22-ft)	197.000
Ônibus elétrico trólebus (40-ft)	850.000
Ônibus a célula combustível (hidrogênio)	3 milhões

Tabela 25 – Média de preços de ônibus para o transporte urbano nos Estados Unidos.
Fonte: Adaptado de EUDY; CHANDLER; GIKAKIS, 2007, p.22.

³⁹ A sigla ft significa *feet*, unidade de medida que equivale a aproximadamente 30 centímetros.

Nessa situação custo excede os limites da competitividade e praticamente eliminam as possibilidades de introdução da tecnologia em escala comercial no mercado. Ainda que o combustível hidrogênio fosse mais barato que o diesel, o custo da tecnologia – ônibus a hidrogênio – seria uma barreira. Nos demais casos demonstrados na tabela, considerando o custo do combustível, manutenção e tempo de vida útil do ônibus, apesar do preço dos veículos serem superiores ao convencional, as tecnologias podem ser consideradas viáveis economicamente, diante da perspectiva de retorno sobre o investimento a partir da operação dos ônibus. Mesmo assim, o fato do custo de produção das demais tecnologias ser superior ao de um veículo normal a diesel continua representando um empecilho.

4.1.1.3. Custo elevado para a introdução da tecnologia

O custo de introdução da tecnologia refere-se aos gastos associados ao uso da tecnologia, como por exemplo, o dispêndio realizado com a infra-estrutura necessária para a produção, estocagem, distribuição, abastecimento e conversão. O custo de inserção não trata da tecnologia em si, como por exemplo, o hidrogênio ou um veículo, mas de sua infra-estrutura. Essa é a diferença entre o custo de produção e o custo de introdução, tratados separadamente neste estudo por não terem relação direta.

O custo de pré-utilização é algo tão significativo que um relatório do *U.S. Department of Energy* ao Congresso americano, aponta a infra-estrutura de abastecimento como uma das barreiras para a implantação do hidrogênio como combustível (USDOE, 2003a, p.8). O mesmo departamento de energia em outro documento parte de um programa de mudanças climáticas, afirma que a infra-estrutura necessária para o uso do hidrogênio representa uma barreira substancial (USDOE, 2003b, p.3). Segundo o *National Research Council* e *National Academy of Engineering* (2004, p.117) atualmente o desafio do hidrogênio está no alto custo de distribuição para localizações dispersas. Esse problema provavelmente permanecerá em toda a etapa inicial de transição, mas poderá ser resolvido com a distribuição do custo entre os usuários, como no caso do gás natural ou a produção local em pequena escala.

Além do hidrogênio, o gás natural enfrenta dificuldade semelhante. No caso dos veículos pesados a gás natural existem dois problemas de custo de inserção. Segundo Ribeiro (2001, p.59) “além de exigir modificações na estrutura da organização das empresas de ônibus, a conversão da frota de transporte público para GNV, também envolve o comprometimento de recursos financeiros significativos”. Um relatório da *Western Governors` Association* publicado nesse ano indica o mesmo problema. A infra-estrutura de abastecimento e a conversão dos veículos são extremamente onerosas (WGA, 2008, p.18).

A necessidade de elevados investimentos em infra-estrutura é uma barreira não somente para o hidrogênio e o gás natural, mas também para outros combustíveis como o diesel sintético produzido a partir do carvão no processo de conversão conhecido por *coal to liquid* (CTL). Plantas de conversão CTL demandam a construção de grandes infra-estruturas para transporte ferroviário, fornecimento de água, tratamento de resíduos, linhas de transmissão e gasodutos para o transporte de dióxido de carbono até os locais de armazenagem (WGA, 2008, p.16).

Esse é um fator capaz de restringir a entrada de novos combustíveis no mercado, principalmente em razão do custo de introdução e o tempo previsto de retorno. Determinadas tecnologias demandam investimentos extremamente elevados e apresentam grandes riscos de sucesso para o negócio, inviabilizando sua introdução.

4.1.1.4. Risco de retorno financeiro

Desenvolver uma nova tecnologia demanda recursos de diversas naturezas, principalmente financeiros. Depois de pronta para ser inserida no mercado, mesmo após a realização de estudos de viabilidade, corre-se o risco de não haver aceitação por parte dos consumidores ou do mercado por incontáveis motivos. Como a fase de inserção da tecnologia no mercado demanda muito mais recursos financeiros que todas as outras (ver gráfico 64), por vezes o risco inibe a realização dessa etapa.

Nesse ponto existe uma conexão entre esse fator e o custo de introdução da tecnologia, mencionado anteriormente. Quanto mais cara a infra-estrutura, mais difícil será de implantá-la. Quanto maior o risco associado à implantação da infra-estrutura, maior será também o risco do retorno sobre a tecnologia. Como na etapa de introdução são realizados investimentos que provavelmente só retornarão após algum tempo, o risco acaba inibindo o uso.

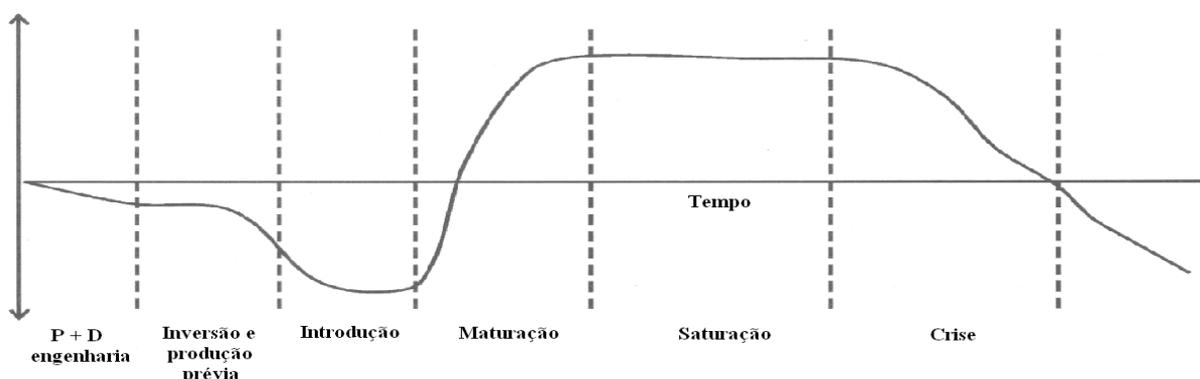


Gráfico 64 – Ciclo de vida de uma tecnologia versus lucratividade.
Fonte: SAENZ; GARCIA CAPOTE, 2002, p.54.

A possibilidade de realizar investimentos para o desenvolvimento e introdução de uma tecnologia e não obter o retorno esperado pode inibir a ação de muitas empresas. Por essa razão, segundo Ribeiro (2002, p.59), “as barreiras tecnológicas decorrem dos riscos financeiros associados à pesquisa e ao desenvolvimento de novas tecnologias”. Algumas tecnologias não são comercializadas ou até mesmo desenvolvidas em razão das incertezas associadas ao dispêndio e da falta de garantias de retorno. Segundo o *World Coal Institute* (2006, p.18), o diesel sintético pode ser um combustível com valor competitivo em comparação com o petróleo, porém, existem riscos financeiros associados à sua comercialização, que deveriam ser compartilhados para a inserção da tecnologia mais rapidamente no mercado.

4.1.1.5. Políticas públicas inadequadas ou inexistentes

As políticas públicas representam um fator central na inserção de tecnologias menos poluentes. Políticas inadequadas, insuficientes ou até inexistentes podem deixar tecnologias fora do mercado. Os autores abordam as falhas das políticas públicas sob vários aspectos e fazem críticas e recomendações de diversas naturezas. No caso brasileiro, um dos problemas apontados é a falta de planejamento de longo prazo, a instabilidade das políticas e as ações intempestivas. Segundo Ribeiro (2002, p.68), a falta de planejamento de longo prazo para o transporte coletivo, a inexistência de políticas de longo prazo de ciência e tecnologia, a descontinuidade dos projetos de pesquisas em fontes alternativas de energia e novos sistemas de propulsão e a falta de definições e prioridades para a aplicação de recursos financeiros são barreiras a inserção de novas tecnologias.

Para Pires, Fernandez e Bueno (2006, p.326), além da visão de curto prazo, as políticas passadas eram intervencionistas e quase sempre visavam contornar crises de abastecimento. Superadas as crises a preocupação acabava e não eram definidas medidas de longo prazo para resolver o problema de forma adequada. As medidas tomadas para resolver situações conjunturais tendem a permanecer por longo prazo, gerando distorções e penalizando consumidores e, sobretudo, criando obstáculos à inserção ou ao desenvolvimento de fontes não convencionais de energia.

O gás natural é um dos produtos que até hoje enfrenta dificuldades para ser introduzido no setor de transportes como combustível para veículos pesados. Segundo Mattos (2001, p.148) “o problema da implantação do gás natural como combustível na frota de ônibus urbanos é muito mais um problema de falta de uma política coordenada entre os atores relevantes do que problemas técnicos ou falta de viabilidade econômica”. A restrição

para o uso do GNV decorre da “inexistência de uma política de preços de longo prazo, que incentive a substituição dos combustíveis tradicionais (RIBEIRO, 2001, p.38).

Os autores concordam que a intervenção do Estado por meio de políticas públicas é fundamental para a inserção de alternativas energéticas. Segundo Diesendorf *et al.* (2008, p.45) as reais barreiras não estão relacionadas com a tecnologia ou com a escala das atividades, mas com as políticas que serão definidas, pois poderão desencadear ou bloquear os investimentos necessários para os combustíveis alternativos. As políticas são necessárias para reduzir as incertezas dos investimentos, estimular atividades de P&D, auxiliar no processo de transferência de tecnologias e tratar das questões ambientais e energéticas (WCI, 2006, p.22).

Um roadmap sobre o hidrogênio produzido pelo *U.S. Department of Energy* (2002b, p.36) afirma que uma das barreiras para o uso do hidrogênio decorre da inconsistência das políticas públicas. A razão está no desconhecimento dos formulares de políticas, que não conhecem o bastante sobre o hidrogênio como combustível. O resultado são mecanismos de regulação inconsistentes em nível federal, estadual e local, incluindo a falta de padrões. Além disso, as políticas são incapazes de medir com precisão os verdadeiros custos e impactos ambientais e energéticos, normalmente resultando em informações incompletas aos consumidores.

4.1.1.6. Interesses setoriais

O fator interesse setorial refere-se às ações dos vários atores para a não entrada de novos concorrentes no mercado de combustíveis automotivos ou para a manutenção das fontes atuais de energia. Natural de qualquer atividade comercial as empresas sempre buscam defender seus interesses, zelando pela manutenção do negócio. No setor energético, em especial o segmento voltado para os transportes, a situação não é diferente. Tanto as petrolíferas como os atores interessados no negócio rejeitam novos concorrentes e novas fontes de energia ou tecnologias que possam comprometer o atual negócio, principalmente se o novo produto não faz parte de seu portfólio.

Como o domínio energético há décadas é do petróleo, a atuação da indústria petrolífera também não é recente. Segundo Mascarim (2004), Ford acreditava no sucesso dos veículos movidos a álcool, chegando a montar uma fábrica para a produção do combustível, que alcançou o patamar 25% das vendas da Standard Oil. Ford promoveu o combustível até 1930 quando a indústria do petróleo derrubou as vendas de biocombustíveis, sendo a usina fechada em 1940.

As empresas de petróleo cresceram no mundo inteiro e ocuparam quase que a totalidade do mercado de combustíveis automotivos. Essa situação lhes concebeu grandes lucros e condições de atuação sobre o mercado. A força das petrolíferas associadas a dos fabricantes de veículos resultou em uma sólida parceria. Essas empresas, em especial as multinacionais dos segmentos de energia e transporte, são capazes de impor coerções ao mercado (RIBEIRO, 2002, p.68). Segundo Ribeiro (2002, p.76) “são tantos os poderes e interesses envolvidos no caso do par “petróleo & transporte”, que é preciso prover incentivos para acelerar a quebra dessa hegemonia”.

4.1.1.7. Nível de enxofre elevado no diesel

O nível de enxofre contido nos combustíveis fósseis, em especial no diesel, representa uma das maiores barreiras para o uso de tecnologias de pós-tratamento, como catalisadores, sistemas de reaproveitamento de gases, uréia e outros. Níveis acima de 15 ppm podem comprometer o funcionamento dessas tecnologias. Segundo Whitacre (2002, p.47), um crescente número de evidências indica a necessidade do uso de óleo diesel de qualidade, especialmente com a redução do nível de enxofre, para que seja possível a utilização de tecnologias destinadas a reduzir as emissões de óxido de nitrogênio e material particulado.

Para Blumberg, Walsh e Pera (2003, p.40) combustíveis com níveis ultra baixos de enxofre, especialmente perto de zero, são a chave para reduzir os impactos locais e globais das emissões de veículos, porém, mesmo com os avanços nos mecanismos de controle das emissões, combustíveis com elevados níveis de enxofre continuam sendo uma barreira para o uso das tecnologias menos poluentes. A remoção do enxofre dos combustíveis e o uso das tecnologias de controle das emissões são os métodos mais acessíveis em curto prazo para reduzir as emissões veiculares (BLUMBERG; WALSH; PERA, 2003, p.35).

O enxofre é um problema não somente para o óleo diesel e a utilização das tecnologias de pós-tratamento, mas também para o gás natural. A presença de enxofre no gás dificulta seu uso como matéria-prima para produzir hidrogênio, por isso, quando o gás é utilizado como matéria-prima, o enxofre deve ser retirado, caso contrário comprometerá o desempenho das células de combustível e contribuirá para reduzir seu tempo de vida útil (GLADSTEIN, NEANDROSS & ASSOCIATES, 2004, p.10).

4.1.1.8. Risco de fornecimento do combustível alternativo

O risco no fornecimento é um fator que incide diretamente sobre os combustíveis. Ele está relacionado com a possibilidade de não ocorrer o fornecimento da alternativa energética ou a instabilidade dos preços, representando um fator impeditivo ao uso do produto. A possibilidade de desabastecimento ou oscilações de preço decorre de vários motivos, como a inexistência de mercado futuro, a capacidade de produção, dependência externa, reservas e outros. O problema é comum a diversos tipos de combustíveis. Um levantamento realizado junto a especialistas do setor de gás natural afirma que umas das possíveis barreiras para a aceitação do GNV é a falta de garantia de suprimento (RIBEIRO, 2001, p.38). Recentemente o Brasil enfrentou problemas no suprimento do gás fornecido pela Bolívia e para Pires, Fernandez e Bueno (2006, p.191) “embora tenham ocorrido descobertas de gás natural na bacia de Santos, o aumento esperado da produção de gás natural em médio prazo não será suficiente para atender à demanda projetada de consumo de gás no País”.

O etanol está na mesma situação, porém, por motivos diferentes. Mesmo diante das grandes quantidades produzidas e do aumento da frota de veículos *flex*, ainda assim “o suprimento de álcool combustível ainda não se traduz em confiabilidade para o mercado consumidor brasileiro, pois está sujeito à evolução do mercado internacional do açúcar” (PIRES; FERNANDEZ; BUENO, 2006, p.57). A incerteza do preço se traduz em risco ao consumidor e produtor, por essa razão, para Pires, Fernandez e Bueno (2006, p.57) é necessário estimular os contratos futuros, assegurando o fornecimento aos consumidores e a rentabilidade dos produtores.

A oscilação no preço do etanol em razão da oferta e do mercado internacional do açúcar foi uma das razões que levaram a perda de confiança dos consumidores e conseqüente queda nas vendas de veículos a álcool nas décadas passadas (RIBEIRO *et al.* 2007, p.341). Além da falta de confiança, no caso dos biocombustíveis, a baixa eficiência em conversão de energia solar em biomassa – menos de 1% –, a demanda por grandes áreas para o plantio, a baixa densidade energética que a biomassa possui se comparada com outras fontes – como o carvão –, e o fato da produção está associada às safras, podendo variar em função de condições climáticas a cada ano (UNDP, 2000, p.228), também são condições que podem levar a queda de credibilidade desse tipo de combustível.

O Brasil vem passando por experiência semelhante no fornecimento do biodiesel. Mesmo com o planejamento antecipado e um programa com metas de percentuais de mistura ao diesel normal, segundo Pires, Fernandez e Bueno (2006, p.65) “dificilmente essas metas serão alcançadas pela dificuldade de a oferta de biodiesel alcançar os níveis necessários”. Uma das razões da dificuldade no fornecimento dos biocombustíveis advém

dos complexos sistemas de organização e da quantidade de atores envolvidos, resultando no surgimento de barreiras à comercialização (UNDP, 2000, p.228).

Além das questões abordadas, a competição pelo uso da terra pode colocar a produção de biocombustíveis em risco, não somente pela questão econômica, ou seja, em função da preferência do agricultor pela cultura mais rentável, como também pela questão política, com a imposição de barreiras imbuídas de interesses populistas. O debate a respeito do tema ainda é divergente, mas para alguns especialistas a produção de energia pode ocorrer sem conflitar com a produção de alimentos. O problema é que se a lucratividade da produção de alimentos crescer, algumas culturas podem se tornar grandes concorrentes daquelas utilizadas para a produção de energia (UNDP, 2000, p.228).

Outro fator de risco está relacionado com a quantidade disponível das reservas das fontes de energia. Um recente estudo realizado pelo Conselho Nacional de Pesquisas dos Estados Unidos sugere que as reservas economicamente viáveis de carvão podem ser menores do que foram estimadas anteriormente, conseqüentemente, podem não ser suficientes para o fornecimento no longo prazo (WGA, 2008, p.16). Produzir combustíveis sintéticos a partir de matéria-prima com reservas escassas é algo pouco provável e certamente se tornará um ponto de reflexão antes de serem realizados investimentos e iniciada a produção.

4.1.1.9. Rede de abastecimento limitada

Ainda que o combustível tenha preço competitivo e emita menos poluentes que os derivados do petróleo, a falta ou limitação de uma infra-estrutura de distribuição e abastecimento certamente será um fator que dificultará ou impedirá o uso da alternativa energética. A disponibilidade da infra-estrutura de distribuição e abastecimento é um problema para os usuários finais, tanto individuais como empresas. No caso das empresas de transporte interestadual o fator é agravado à medida que o deslocamento é feito para o interior, em percursos que podem ser de longa distância.

O senador americano Orrin Hatch, ao falar das três barreiras de mercado para a entrada de combustíveis alternativos, citou a falta de estações de abastecimento como uma delas (AMERICAN METHANOL INSTITUTE, 2001, p.46). Segundo Diesendorf *et al.* (2008, p.15) existem grandes barreiras para a entrada de combustíveis no mercado e a rede de abastecimento é uma delas. Certamente que sempre que possível a atual infra-estrutura de distribuição e abastecimento deverá ser utilizada, entretanto, seja qual for o combustível, ele demandará significativos desenvolvimentos estruturais (WGA, 2008, p.9).

Um bom exemplo da restrição do compartilhamento de infra-estrutura está no caso do biodiesel. O combustível demanda a construção de uma estrutura independente, pois não pode utilizar a do diesel convencional, ou seja, os oleodutos, tanques de armazenamento e outras partes devem ser separados (WGA, 2008, p.14). Essa incompatibilidade compromete a distribuição e alcance do produto. Caso fosse comercializado em sua forma pura demandaria uma estrutura a parte e certamente, em primeiro momento, teria alcance muito menor que a do diesel.

Dos combustíveis disponíveis, um dos que possui maior dificuldade com relação à infra-estrutura de abastecimento é o hidrogênio. O problema começa com o alto custo da tecnologia de distribuição, maior que a dos combustíveis tradicionais associado aos inconvenientes ligados aos aspectos de desempenho e segurança. Os consumidores esperam o mesmo grau de conveniência dos combustíveis tradicionais (USDOE, 2003a, p.42), inclusive a disponibilidade do produto em diversas localidades, como ocorre no caso da gasolina (USDOE, 2003a, p.41). Por essas razões, muitos especialistas apontam a infra-estrutura como sendo uma das principais barreiras para a entrada do combustível no mercado (MELENDEZ; MILBRANDT, 2006, p.1). Consideram um desafio a ser superado na etapa de distribuição (WIPKE *et al.* 2008b, p.3) e um ponto a ser ultrapassado para o uso de veículos com células de combustível (DIESENDORF *et al.* 2008, p.30).

No Brasil existe um caso clássico relacionado à limitação da infra-estrutura de distribuição de GNV. Segundo Pires, Fernandez e Bueno (2006, p.240), “os principais entraves para o crescimento do consumo de gás em veículos pesados e para transporte público têm sido a baixa capilaridade da rede de transporte e distribuição”. Um caminhão que se desloca da região sul até o nordeste precisa de rede de abastecimento em todo o trajeto e não existindo, essa será uma barreira para que novos veículos a GNV entrem no mercado ou que seja realizada a conversão do motor.

4.1.1.10. Revenda dos veículos usados

Esse fator está ligado diretamente à limitação da rede de abastecimento do combustível. Na realidade poderia ser tratado como uma das conseqüências dessa limitação, porém, o destaque feito por alguns autores permite apresentá-lo separadamente. O fator revenda está relacionado com a comercialização dos ônibus usados, ou seja, a inserção desses ônibus em mercados secundários.

Os veículos utilizados no transporte coletivo urbano têm prazo máximo para circulação que podem chegar a até dez anos. Depois desse prazo os veículos devem ser substituídos por outros mais novos. Os usados normalmente são destinados para mercados secundários,

costumeiramente fora dos centros urbanos. Quando os veículos não podem ser negociados pela falta do combustível na localidade compradora, essa condição se torna uma barreira para a aquisição de tecnologias alternativas, considerando que a inexistência de mercados compradores para os veículos usados acaba inviabilizando os investimentos (PIRES; FERNANDEZ; BUENO, 2006, p.240). Nesse caso, para poderem ser revendidos os veículos precisam ser convertidos para diesel, demandando investimentos que por vezes são inviáveis.

No passado o País fez algumas tentativas para utilizar o GNV como combustível não somente para carros, mas também para ônibus urbanos. Buscou estimular o desenvolvimento necessário ao uso do gás, inclusive com a criação de um programa governamental voltado à inserção do combustível na matriz energética de transportes, com o intuito de substituir o uso do diesel no transporte coletivo, entretanto, segundo Ribeiro (2001, p.20) várias barreiras “impediram o avanço do PLANGAS, dentre outras a resistência dos empresários de ônibus diante das limitações para a revenda dos veículos usados que era restrita aos municípios atendidos por gasodutos”.

4.1.1.11. Falta ou insuficiência de padrão tecnológico

Como no caso de qualquer produto, a falta de especificações técnicas padrão capazes de garantir a qualidade do combustível pode comprometer sua entrada no mercado. A existência de padrões garante a qualidade do produto, dando ao consumidor a certeza que está utilizando um combustível que terá o aproveitamento máximo e não comprometerá seu veículo. Além do consumidor esse é um ponto de grande importância para os fabricantes. O padrão do combustível garante que os motores não serão danificados e apresentarão o desempenho previsto, eliminando possíveis problemas de pós-venda e garantia.

Um dos casos mais comuns de problema na padronização está relacionado aos biocombustíveis, mais precisamente com o biodiesel. A variedade de matérias-primas dificulta a definição de especificações mais precisas. Ainda assim, mesmo diante da amplitude de possíveis insumos, o estabelecimento de especificações é fundamental para que a qualidade do produto não seja afetada. Em um passado muito recente, a falta de qualidade do biodiesel impactou o mercado e sempre que sua qualidade é reduzida, isso representa uma barreira para o crescimento do mercado desse combustível (WGA, 2008, p.14)

Os padrões são importantes não somente para os combustíveis como para todas as outras tecnologias associadas. Um dos problemas é que os códigos e normas de padrões podem variar de uma tecnologia para a outra, por fabricante e por localização, ainda assim,

sua completa ausência pode representar uma barreira para a implantação de um combustível alternativo (USDOE, 2003a, p.44). Wipke *et al.* (2008b, p.3) compartilha dessa mesma idéia ao afirmar que o desenvolvimento de normas e padrões são barreiras ao uso do hidrogênio e um desafio a ser superado. Essas definições são necessárias para estabelecê-lo como um combustível para o setor de transportes, afirma o relatório da *Western Governors Association* (2008, p.19).

4.1.1.12. Estágio de desenvolvimento da tecnologia

Esse pode ser considerado um dos fatores centrais que dificultam ou impedem o uso de tecnologias de qualquer natureza no setor de transportes. Enquanto uma tecnologia não alcança o estágio de maturidade adequado, uma série de problemas surge desta condição, como a falta de confiança do usuário, a baixa segurança para o uso, a elevação de custos, a baixa eficiência e outros. Esse é um problema comum a diversos tipos de tecnologias, desde a etapa de pesquisa e desenvolvimento à fase de testes. Algumas estão em estágio mais avançado, precisando somente de pequenos ajustes, outras estão na fase inicial e ainda percorrerão um longo caminho antes de chegarem à maturidade.

Uma das tecnologias que ainda precisam amadurecer bastante é o éter dimetil, que por enquanto está em estágio experimental e ainda é cedo para dizer se será comercialmente viável (RIBEIRO *et al.* 2007, p.345). Outra tecnologia um pouco mais avançada, porém, com algumas restrições técnicas, refere-se ao uso do gás natural liquefeito. Com a elevação da pressão dos tanques de armazenamento do combustível, o excedente deve ser consumido, caso esteja armazenado no veículo, ou eliminado pelas válvulas de alívio, o que representa dinheiro perdido (BARTON, 1997, p.4). Além da perda do combustível, o uso do GNL apresenta algumas desvantagens se comparado com o diesel convencional, como a necessidade de ignição por centelha, reduzindo a eficiência do motor em 15%. Além disso o combustível tem baixa densidade energética e demanda estruturas mais sofisticadas de armazenamento para manter o combustível em estado líquido a baixas temperaturas (MOON, 1996, p.2).

Além do gás natural liquefeito, outros combustíveis ainda enfrentam algumas barreiras para sua comercialização, como o *E-diesel* e os problemas ligados ao baixo ponto de ignição, a necessidade de cuidados na manipulação do produto – diferentes daqueles aplicados ao diesel convencional –, a demanda por modificações no sistema de estocagem, a falta de garantia dos motores pelos fabricantes quando na utilização do combustível e a necessidade de registro do produto pelo programa de emissões americano, demandando tempo e recursos financeiros (MCCORMICK; PARISH, 2001, p.1). Além de todos esses

pontos, o combustível pode ainda apresentar outro problema, a separação do óleo diesel e do álcool em baixas temperaturas (NREL, 2008, p.2).

Outros que enfrentam dificuldades são os combustíveis resultantes de conversões. Os processos de conversão de biomassa para combustíveis líquidos (BTL) ou do carvão para combustíveis líquidos (GTL), são tecnologias que ainda possuem diversos obstáculos para o desenvolvimento de uma indústria de conversão, incluindo a imaturidade da tecnologia do gaseificador, o transporte, o manuseio e tratamento da biomassa nas quantidades necessárias para o co-processamento (WGA, 2008, p.16). Já os processos de conversão do carvão, apesar de representar uma oportunidade de produção de combustíveis líquidos, ainda são relativamente ineficientes, com conversões entre 61-65% (RIBEIRO *et al.* 2007, p.345).

Com relação aos veículos elétricos, são extremamente eficientes, porém, a baixa autonomia das baterias representa uma barreira para sua penetração no mercado (RIBEIRO *et al.* 2007, p.347). Outro veículo com restrição de uso são os híbridos. Segundo Ribeiro (2002, p.69), “embora o veículo não apresente as limitações de desempenho e alcance características dos veículos elétricos a bateria, nem as restrições operacionais dos trólebus [...] pode exigir uma maior dedicação à rota [...] e criar uma barreira a sua implantação”. Nesse tipo de ônibus a restrição ocorre em função da velocidade média necessária para que o veículo seja mais econômico e emita menos poluentes em comparação com os ônibus convencionais movidos a diesel. Para Ribeiro (2002, p.68) “a introdução de novas tecnologias de propulsão no mercado de transporte rodoviário ainda depende de extenso desenvolvimento tecnológico”.

A tecnologia de produção do biodiesel é dominada, porém, o uso do combustível em determinados níveis de mistura representa um desafio tecnológico a ser superado. Os desafios incluem o potencial para a estabilidade oxidativa pobre, a incompatibilidade com os sistemas de combustível, a propriedade de fluxo a baixas temperaturas e o aumento da emissão de NO_x (MCCORMICK, 2002, p.38). Além disso, atualmente os fabricantes de motores a diesel não garantem o funcionamento com percentuais elevados da mistura. Sem solucionar esses desafios técnicos, ainda que a produção de biodiesel aumente o combustível não poderá ser utilizado.

Por fim, a tecnologia considerada como a mais promissora para substituir o petróleo: o hidrogênio. Segundo Wipke (2008b, p.2) numerosas barreiras precisam ser ultrapassadas para que os veículos a hidrogênio sejam viáveis comercialmente. Um dos obstáculos é o armazenamento do hidrogênio. O objetivo é tornar o sistema de armazenamento do combustível semelhante ao dos atuais veículos a gasolina. Serão necessários investimentos e pesquisas, incluindo armazenamento em materiais sólidos como hidretos e materiais adsorventes. O sistema de armazenamento deve ser de baixo custo, eficiente, seguro e

capaz de permitir um veículo percorrer de 300 a 400 milhas, sem comprometer seu espaço (USDOE, 2003a, p.43).

Outros fatores como a durabilidade e desempenho das células de combustível representam barreiras para o uso do hidrogênio. O desempenho delas ainda não foi satisfatoriamente verificado, embora alguns tipos tenham apresentado bons resultados e confiabilidade (USDOE, 2003a, p.40). As células ainda estão em processo de desenvolvimento e se deparam com diversos obstáculos. O desafio está no trabalho de pesquisa e desenvolvimento (NATIONAL RESEARCH COUNCIL; NATIONAL ACADEMY OF ENGINEERING, 2004, p.8) para chegar à maturidade tecnológica.

O tempo de vida das células ainda é curto e a capacidade de dispor de energia a bordo em quantidade equivalente a um veículo movido a combustível fóssil ainda não foi desenvolvida (NATIONAL RESEARCH COUNCIL; NATIONAL ACADEMY OF ENGINEERING, 2004, p.116). Mesmo o transporte de hidrogênio em outros combustíveis líquidos para a posterior conversão no veículo ainda carece de avanços. Segundo Ribeiro (2002, p.71) “a reforma embarcada para geração de hidrogênio é um processo complexo e compromete muito espaço do veículo”.

Todas essas questões técnicas precisam ser resolvidas para que algumas tecnologias possam tentar entrar no mercado. Ribeiro (2001, p.38), exemplifica bem a questão da segurança ao afirmar que “qualquer programa de incentivo ao uso do GNV em substituição aos tradicionais combustíveis líquidos, poderá ser comprometido em decorrência de acidentes de graves conseqüências”. O então presidente da ABGNV, Murício Brazioli, também destacou outra questão técnica a ser tratada, ao afirmar que “é necessário equacionar a relação peso morto X preço da carga, já que cada quilo a mais na estrutura do veículo representa um quilo de carga que não será transportado” (RCC, 2005).

Risco de acidentes, baixo desempenho, desconforto, fragilidade e outros fatores precisam ser resolvidos para que as tecnologias sejam regulamentadas e possam ser inseridas em grande escala no mercado. Sem a maturidade necessária os consumidores pouco provavelmente assumirão o risco de utilizar uma dessas tecnologias, ainda que propiciem benefícios econômicos.

4.1.1.13. Impacto ambiental e sobre a saúde em razão da alternativa energética

A escolha de uma fonte alternativa de energia pode ter como objetivo a redução dos impactos ambientais ou sobre a saúde humana. Algumas delas são capazes de resolver uma dessas questões, porém, por vezes impactam de forma negativa sobre a outra. Um combustível alternativo pode causar danos mínimos ao meio ambiente, mas pode resultar

em grande malefício à saúde do homem. Pode também ser inofensivo ao ser humano, mas um grande responsável pelo aquecimento global. Um combustível nessas condições provavelmente encontrará dificuldades para ser comercializado em substituição aos atuais, estabelecidos há décadas.

Um das barreiras que impede a expansão da produção de biocombustíveis em larga escala e a possibilidade deles demandarem vastas dimensões de desmatamento e a liberação de grandes quantidades de carbono do solo (RIBEIRO *et al.* 2007, p.344). Além disso, o crescimento de culturas para a produção de energia demanda grandes quantidades de água e nutrientes, levantando preocupações quanto ao impacto no solo e nos recursos hídricos (WGA, 2008, p.14). Pelo fato de não se saber muito sobre os reais efeitos de culturas energéticas em larga escala na paisagem e na biodiversidade esse é um ponto que se coloca como uma barreira ao uso da bioenergia (UNDP, 2000, p.228).

O biodiesel é um exemplo de combustível que, segundo estudos, colabora para a redução das emissões de alguns poluentes atmosféricos e gera menos impactos sobre o aquecimento global, entretanto, o resultado de suas emissões pode variar de acordo com as práticas agrícolas, o uso da terra e a forma de processamento do combustível (WGA, 2008, p.14). Quanto maior seu impacto sobre o meio ambiente, maiores serão as dificuldades para o combustível entrar no mercado e isso vale para qualquer tipo de combustível que queira competir com os derivados do petróleo.

Os combustíveis sintéticos derivados do carvão enfrentam esse problema, pois emitem mais CO₂ que o processo de refino do petróleo (WCI, 2006, p.20). A produção de hidrogênio a partir do carvão enfrenta esse mesmo problema. Pode ser viável economicamente, porém, as grandes quantidades produzidas de CO₂ precisam ser capturadas e armazenadas (NATIONAL RESEARCH COUNCIL; NATIONAL ACADEMY OF ENGINEERING, 2004, p.117), caso contrário, assim como na situação dos combustíveis sintéticos, a produção de hidrogênio a partir do carvão poderá ser declinada. Outra alternativa energética que, de certa forma, causa preocupações quanto a seu impacto é o gás natural. A produção de gás produz impactos sobre o solo e recursos hídricos, demandando avanços para minimizar sua ação sobre o meio ambiente (WGA, 2008, p.18).

4.1.1.14. Restrições legais ao uso de combustíveis alternativos

O fator restrição legal é bem específico para um tipo de combustível e tem aplicação somente no Brasil em função da legislação vigente. Apesar da especificidade do fator, ligado a uma única tecnologia, abordar a questão é algo relevante, não pelo impacto deste combustível na matriz energética, tendo em vista que a produção nacional ainda é baixa,

mas em razão de sua característica, que se estendida para outras fontes de energia será certamente um fator de restrição e um problema para o País. O caso em questão refere-se ao uso do gás liquefeito de petróleo, o GLP, contido nos botijões de gás. Para Pires, Fernandez e Bueno (2006, p.84) as restrições ao uso do GLP que datam de 1990 são incompatíveis e precisam ser eliminadas.

Segundo esses mesmo autores, “as restrições ainda existentes para o uso do GLP e as fortes distorções tributárias existentes constituem-se em fatores inibidores para o seu crescimento de participação na matriz energética brasileira” (PIRES; FERNANDEZ; BUENO, 2006, p.67). Com a atual capacidade de produção do gás pouco provavelmente ele será um substituto do diesel, nem em pequenas parcelas, porém, a liberação do uso poderá estimular o surgimento de novos mercados, trazendo benefícios, desde que não haja disputa entre o setor de transporte e, principalmente, o residencial.

4.1.1.15. Inexistência de indústria nacional

O processo de desenvolvimento e comercialização de uma tecnologia envolve diversos atores. Muitas vezes a pesquisa básica surge nas universidades e posteriormente precisa ser transferida para uma empresa, que irá continuar com pesquisas aplicadas até chegar a uma inovação. Essa relação empresa-universidade é uma das mais complexas no campo da inovação tecnológica, envolve questões básicas como o contato entre os atores e o desconhecimento das empresas quanto aos desenvolvimentos realizados pelas universidades, até outras mais avançadas, como o direito de propriedade da tecnologia.

No Brasil a situação é agravada por alguns outros motivos. Um deles é a falta de tradição da iniciativa privada nacional em investir no desenvolvimento de tecnologia por inúmeros motivos e o outro é a “dependência de produtos e serviços de empresa multinacionais em atividades estratégicas para o sucesso de programas de inovação tecnológica nos segmentos de energia e transportes” (RIBEIRO, 2002, p.68). Uma das conseqüências é a adoção de soluções inadequadas ao País em decorrência da inexistência de empresas nacionais capazes de desenvolver e comercializar determinadas tecnologias.

A distância entre os centros de pesquisa e as empresas aumenta quando se trata de empresas multinacionais, que possuem seus próprios centros de pesquisa em outros países. Segundo Lopes (1998, p.111),

“a implantação de filiais das empresas multinacionais não implica de maneira alguma a criação de laboratórios de pesquisa nestas subsidiárias [...] as corporações multinacionais — e as economias que as dominam —

não precisam dos serviços dos cientistas nacionais nem de universidades independentes nos países subdesenvolvidos em que se estabelecem”.

4.1.1.16. Aceitação da tecnologia

Normalmente a aceitação de uma tecnologia está relacionada a alguns dos outros fatores descritos nesse tópico, entretanto, o comportamento de consumo nem sempre pode ser facilmente explicado. Esse fator pode representar uma barreira, em especial, para os veículos de passeio, onde os consumidores optam pela compra em razão de motivos que não são somente financeiros, como o gosto e o status. Apesar de comum ao nicho de veículos leves, essa condição não se restringe a ele. No segmento de veículos pesados, mesmo depois da tecnologia ter passado pela viabilidade econômica ela precisa ser aceita pelo comprador.

Para a aquisição é necessário que os consumidores entendam que estão tendo alguma vantagem, caso contrário, não perceberão nenhuma proposição de valor robusta, capaz de convencê-los a optar pela tecnologia⁴⁰ (USDOE, 2002b, p.25). Por isso, além dos desafios tecnológicos e de infra-estrutura, um grande obstáculo a ser ultrapassado é a aceitação social (NATIONAL RESEARCH COUNCIL; NATIONAL ACADEMY OF ENGINEERING, 2004, p.8). Esse processo de aceitação pelos consumidores não é simples e pode ser lento por vários motivos (WGA, 2008, p.15) exigindo a sensibilização e aceitação pública (WIPKE *et al.* 2008b, p.3).

4.1.2. Especialistas

O levantamento de opiniões dos especialistas quanto aos fatores que dificultam ou impedem o uso de tecnologias menos poluentes para ônibus e caminhões teve o mesmo objetivo daquele realizado a partir da literatura. A diferença entre eles é que o com especialistas trouxe consigo a intenção de abordar os fatores a partir de perspectiva restritamente nacional e voltada especificamente aos ônibus e caminhões. Como o levantamento ocorreu há poucos meses, tem a vantagem de ser uma interpretação contemporânea, mais adequada ao momento. Outra vantagem é a possibilidade do entrevistado tratar de questões, que porventura, podem não ter sido abordadas nos trabalhos publicados, por motivos os mais variados.

Os fatores identificados serão apresentados seguindo alguns princípios aplicados no levantamento literário, por essa razão eles não estão relacionados a uma tecnologia, ao

⁴⁰ Nesse caso o autor se refere ao uso do hidrogênio.

contrário, um fator se aplica a um conjunto de tecnologias. Como o levantamento com os especialistas foi realizado com o compromisso de não mencionar seus nomes, não serão feitas citações, por este motivo, ainda que vários deles concordem com o mesmo fator, este será apresentado de forma resumida, aplicando o mesmo padrão descritivo para todos. Nesse ponto, a forma como os fatores são apresentados se diferencia daquela feita a partir do levantamento literário, os quais possuem quantidades diferentes de citações para cada um dos fatores.

Assim como aplicado na busca literária, alguns fatores foram agrupados na tentativa preservar uma abordagem mais ampla, sem tratar aqueles específicos e ligados a determinadas tecnologias. Nem todos os que serão apresentados coincidem com aqueles descritos anteriormente. Alguns em razão de seu ineditismo e outros porque, apesar da possibilidade de agrupamento, os entrevistados enfatizaram a necessidade de tratá-los de forma independente. A seguir a relação dos fatores descritos pelos entrevistados durante a pesquisa de campo. A ordem de apresentação é aleatória, sem qualquer tipo de ligação com aqueles baseados na literatura e nenhum julgamento de relevância ou impacto.

4.1.2.1. Foco econômico excessivo

Segundo alguns especialistas, uma das barreiras ao uso de tecnologias menos poluentes refere-se à ênfase aplicada aos fatores econômicos no momento de analisar uma tecnologia. O empresário do setor de transportes está preocupado estritamente com o retorno financeiro da tecnologia e o Estado a avalia com indicadores baseados em fatores econômicos, atribuindo menor importância aos benefícios decorrentes do uso da tecnologia, tanto ambientais como sobre a saúde.

4.1.2.2. Políticas públicas inadequadas ou inexistentes

Um fator mencionado por quase todos os especialistas. Para eles as políticas públicas não são eficientes, nem capazes de estimular a entrada de tecnologias no mercado e, além disso, são deficitárias sob diversos aspectos. Alguns deles afirmam que existe um problema de ligação entre as políticas voltadas ao setor de transporte, energético e ambiental, quando deveriam ser consolidadas. Outro problema é a não existência de políticas de preços para os combustíveis alternativos, condição que constitui um risco para o empresário de empresas de transportes. Faltam também políticas de subsídio para o uso de novas tecnologias. Por fim, as políticas energéticas precisam ser diversificadas e regionalizadas, ao invés de focadas em um único combustível.

4.1.2.3. Inexistência de indústria nacional

A ausência de indústria nacional capaz de produzir tecnologias menos poluentes foi apontada com um dos fatores restritivos e impeditivos. Existe o receio de investir em tecnologias importadas. Não se tem garantia da permanência da empresa no País, a assistência técnica nem sempre é fácil e o relacionamento com algumas empresas fornecedoras de veículos é difícil. Segundo alguns especialistas, se existissem empresas brasileiras produzindo tecnologias o risco seria menor.

4.1.2.4. Excesso de poder político e econômico dos atores do setor de transporte rodoviário

Alguns entrevistados acreditam que os empresários do setor de transportes têm a capacidade de intervirem no mercado, em razão do grande poder político e econômico que possuem. Quando não aceitam uma tecnologia conseguem se posicionar de modo a interferir em decisões públicas, criando barreiras para o uso de alternativas, como no caso do gás natural na cidade de São Paulo.

4.1.2.5. Dificuldade em repassar os custos das novas tecnologias adquiridas

Esse fator tem relação direta com o custo da tecnologia, entretanto, é apresentado a partir da lógica econômica do negócio de transportes. Nesse caso o problema não é o custo em si, mas a dificuldade de repassá-lo para os usuários. Quando uma nova tecnologia é adquirida e resulta em custo adicional para as empresas, isso pode representar um problema diante da dificuldade de absorvê-lo, em razão das baixas margens. Nesses casos a empresa precisa repassar os custos adicionais aos usuários ou clientes, sendo esse um ponto crítico, pois em alguns mercados o baixo poder aquisitivo ou as competitivas margens de lucro não permitem a entradas dessas tecnologias que acarretem em custos adicionais.

4.1.2.6. Custo elevado de produção da tecnologia

Algumas tecnologias ainda são caras e exigem altos investimentos, como no caso do hidrogênio, chegando ao ponto da inviabilidade econômica em razão da infra-estrutura necessária para a operação. No caso dos veículos a etanol, o problema está relacionado ao preço do combustível, que se torna mais caro em comparação ao diesel quando avaliado o

custo por quilômetro percorrido. Para se ter uma noção, um ônibus a GNV na Europa custa cerca de 90 mil Euros a mais que um convencional, um valor que o torna caro ao ponto de não valer a pena adquiri-lo.

4.1.2.7. Custo elevado para a introdução da tecnologia

O custo de introdução refere-se aos gastos para que a tecnologia seja introduzida no mercado. No caso dos combustíveis, refere-se à infra-estrutura de produção, armazenamento, distribuição e abastecimento. No caso dos veículos, o custo de conversão, adaptações ou qualquer outro, fora a tecnologia propriamente dita. Disponibilizar gás natural para todo o País representa um custo de introdução elevado, principalmente de infra-estrutura de distribuição. Converter os veículos a diesel para GNV também é outro custo de introdução que dificulta o uso do combustível.

4.1.2.8. Estágio de desenvolvimento da tecnologia

Para diversos especialistas algumas tecnologias enfrentam barreiras técnicas para serem introduzidas no setor de transportes. Dentre elas pode-se mencionar o hidrogênio e alguns outros combustíveis, como o metanol, éter dimetil, o biodiesel em elevados percentuais de mistura com o diesel, etc. Para os entrevistados a questão do desenvolvimento tecnológico é primordial para começar a discutir a possibilidade de introduzir as alternativas no mercado. Sem alcançar o estágio necessário para adquirir a confiança do consumidor, qualquer tecnologia enfrentará grandes dificuldades.

4.1.2.9. Falta de atores para inserir tecnologias no mercado

Um fator novo, não discutido nas publicações consultadas refere-se à falta de atores responsáveis pela inserção da tecnologia no mercado. Para alguns especialistas, determinadas tecnologias estão prontas, mas as ações necessárias para implementar seu uso, como a busca de parceiros, financiamento, atividades de marketing e outras, não são realizadas. Nesse caso não existem barreiras, mas uma lacuna entre atores que impede a introdução e comercialização de tecnologias.

4.1.2.10. Falta ou insuficiência de padrão tecnológico

A padronização dos combustíveis, semelhante ao fator obtido a partir de pesquisa literária, também é considerada pelos especialistas como uma barreira ao uso de combustíveis. Sem padrões bem definidos e com pequenas margens de variação não se tem a garantia dos fabricantes de motores e o custo de manutenção dos veículos pode aumentar. Esse problema é apontado como crítico, principalmente para o biodiesel, que tem grande quantidade de plantas e insumos como matéria-prima, resultado em um produto com especificações variadas e regulamentação ampla para atender as diversas características do produto.

4.1.2.11. Interesses setoriais

Outro fator que dificulta e às vezes impede a entrada de tecnologias no mercado está relacionado com os interesses setoriais. Segundo alguns entrevistados, os fabricantes de veículos instalados no Brasil não costumam receber bem as tecnologias desenvolvidas fora de seus centros de pesquisa, por essa razão as parcerias com esse tipo de empresa não avançam. Aquilo que é produzido pelas universidades nacionais não costuma ser absorvido pelas multinacionais, que chegam até a negar suporte, o fornecimento de materiais e partes e o estabelecimento de parcerias para desenvolvimentos conjuntos.

4.1.2.12. Revenda dos veículos usados

Alguns entrevistados apontaram a revenda dos ônibus usados como um dos fatores que dificultam a entrada de tecnologias alternativas, em especial combustíveis. Como em algumas localidades os veículos chegam a ser trocados com quatro anos de uso, a existência de um mercado comprador para os veículos usados é indispensável. O problema é como vendê-los para uma localidade que não dispõe de assistência para a tecnologia utilizada ou o combustível não chega até onde o veículo será usado. Para eles esse fator inibe a compra de tecnologias muito modernas ou veículos movidos a combustíveis não disponíveis em cidades do interior.

4.1.2.13. Fornecedor único de tecnologia

Essa é uma questão voltada especificamente para o caso dos veículos pesados a etanol. A tecnologia dos motores por compressão e o aditivo utilizado no etanol para propiciar a auto-ignição são de fornecimento restrito. Os motores atualmente são fornecidos por uma única empresa, assim como o aditivo. Por essas razões, alguns dos entrevistados

entendem que essa situação pode levar ao risco do aprisionamento tecnológico, ou seja, ficar dependente de um único fornecedor para prestar assistência e fornecer o aditivo. Para alguns dos consultados esse fator representa uma barreira exclusiva para o uso de veículos pesados a etanol.

4.1.2.14. Rede de abastecimento limitada

Segundo alguns especialistas um dos fatores que impedem o uso de determinadas tecnologias, como por exemplo, o gás natural, é a limitação da rede de abastecimento do combustível. Um caminhão a gás natural não pode ser utilizado em qualquer lugar do Brasil porque a rede de abastecimento ainda é restrita a alguns estados. Para eles as viagens de longa distância não poderiam ser realizadas por veículos movidos por combustíveis alternativos, ficando restritos ao uso nos grandes centros urbanos – nesse ponto enfatizam a relação com a questão da revenda do veículo.

4.1.2.15. Risco de fornecimento do combustível alternativo

Grande parte dos entrevistados afirma que a garantia de fornecimento do combustível alternativo com preços controlados é fundamental para a aquisição e o uso de veículos movidos pelo referido combustível. Aqueles sujeitos as variações no fornecimento, como o etanol – oscilações motivadas pelas safras ou o mercado do açúcar –, ou o gás natural – em razão de questões políticas –, não são bem vistos pelas empresas, por isso enfrentam dificuldades para serem introduzidos no mercado.

4.1.2.16. Fatores culturais

O levantamento sugere que para que uma tecnologia ganhe mercado é necessário que seus usuários estejam dispostos a pagar pelos benefícios. Além dos fatores financeiros, existem outros capazes de motivar a compra de uma tecnologia menos poluente, como as questões ambientais. Em alguns países europeus, devido à ampla conscientização ambiental, as empresas investem no uso de alternativas tecnológicas menos poluentes. No Brasil, diferente desses países, os usuários dos serviços não estão dispostos a pagar mais por um transporte que cause menor impacto no meio ambiente.

4.1.2.17. Baixo preço do petróleo

Um fator já apresentado na literatura que também é parte da opinião de especialistas. Segundo eles o preço do petróleo pode dificultar a entrada de alternativas energéticas menos poluentes. Quanto menor o preço do óleo, menos competitivas são as alternativas energéticas, conseqüentemente terão menos usuários e menor espaço de mercado. Segundo os entrevistados, quando o preço sobe as fontes alternativas se tornam mais atraentes, pois o custo que normalmente é superior aos derivados do petróleo se torna mais competitivo.

4.1.2.18. Inexistência de commodity energética alternativa

Esse é um fator interessante, que apesar de suas partes estarem distribuídas entre alguns dos outros, vale apresentá-lo separadamente. Segundo alguns poucos especialistas, para que um combustível seja amplamente utilizado é necessário que seja uma commodity. Para que isso aconteça precisa estar disponível em grandes quantidades, não pode ter custo de transporte elevado, o fornecimento deve ser garantido por meio de mercado futuro, precisa dispor de especificação internacional e ter outras características comuns às commodities. Segundo um dos especialistas, o álcool não consegue substituir o petróleo porque ainda não é uma commodity e somente poderá ampliar seu mercado de forma significativa quando dispuser de transporte de baixo custo, receber especificação internacional e o fornecimento for garantido por contratos futuros.

4.1.2.19. Desconhecimento da tecnologia

A falta de domínio e, em muitos casos, o desconhecimento de como funciona a nova tecnologia, inibi sua aquisição. Essa condição certamente representa um grande fator impeditivo para o uso da alternativa. Segundo alguns especialistas, os gestores das empresas de transporte de carga e passageiros têm receio da empresa não conseguir prestar assistência técnica adequada nos veículos com as novas tecnologias. Temem precisar de profissionais altamente especializados para realizar a operação e manutenção dos veículos, além da possibilidade de aquisição de equipamentos sofisticados e caros para realizar os consertos.

4.1.2.20. Falta de empresas públicas de transporte

Para alguns especialistas a inexistência de empresas públicas de transporte coletivo é um fator que dificulta a introdução de novas tecnologias. As empresas convencionais de

transporte são motivadas exclusivamente pelo lucro. Empresas públicas poderiam ter outras finalidades além da rentabilidade, sendo responsáveis por estimular a entrada de tecnologias mais limpas e promover a abertura de novos mercados, como acontece em outros países.

4.1.2.21. Elevado nível de enxofre no diesel

Assim como apresentado na literatura, outro fator descrito como uma barreira a entrada de novas tecnologias, em especial aquelas de pós-tratamento, é o nível de enxofre contido óleo diesel comercializado no Brasil. Segundo os especialistas, os atuais níveis contidos no diesel são extremamente elevados. Se o combustível for utilizado em motores com esses sistemas de tratamento certamente causará diversos danos aos veículos.

4.1.2.22. Falta de estímulos

Esse é um fator que poderia ser agrupado ao que trata de políticas públicas, porém, o destaque feito a ele pelos entrevistados lhe permite um tópico. Segundo alguns dos entrevistados, um dos fatores que dificulta a entrada de novas tecnologias é a falta de estímulos por parte do governo para a aquisição de veículos menos poluentes. Faltam estímulos, principalmente financeiros para a adesão a novas tecnologias, como linhas de financiamento e melhores preços. Um exemplo é o caso do álcool. O governo ao invés de subsidia o etanol que é menos poluentes, subsidia o diesel. No caso dos veículos, os menos poluentes são mais caros que os mais poluentes, quando deveria ser o contrário. Por fim os impostos, que são menores para os veículos mais velhos, ou seja, quanto mais polui, menos impostos ele paga.

4.1.2.23. Descumprimento da legislação ambiental

Segundo alguns especialistas, a legislação brasileira é adequada à realidade nacional, porém não é cumprida. O caso do enxofre é um dos exemplos. Mesmo a orientação estando disponível há anos na legislação, pouco se fez para que as metas fossem cumpridas. Outro exemplo de descumprimento é a parte da legislação que trata dos programas de inspeção veicular para veículos usados. Apesar do tempo em que foram estipulados, não são cumpridos. Para os especialistas, se a legislação fosse cumprida na íntegra estimularia o uso de novas tecnologias menos poluentes, como ocorre na Europa e nos Estados Unidos.

4.2. Comparando estudos

No ano de 2006 o *National Renewable Energy Laboratory* – NREL publicou os resultados de um projeto conduzido por M. Melendez com o propósito de identificar os principais conceitos e lições aprendidas através da avaliação e utilização de novos combustíveis em experiências relacionadas aos programas norte-americanos *FreedomCAR and Vehicle Technologies Program* e o *Hydrogen, Fuel Cells, and Infrastructure Technologies Program* (MELENDEZ, 2006, p.1), destinados ao uso de alternativas energéticas no setor de transporte rodoviário.

O objetivo central do estudo era utilizar o aprendizado de projetos e pesquisas anteriores com a implantação de soluções energéticas, para orientar a construção de estratégias de transição para a aplicação do hidrogênio como combustível veicular de maneira bem sucedida. Para identificar os aprendizados anteriores o coordenador do estudo realizou o levantamento das principais barreiras, consideradas críticas, para implantar com êxito o uso de novos combustíveis veiculares.

O levantamento ocorreu de duas formas: por meio da literatura e por consulta aos especialistas. A pesquisa na literatura foi feita com pouco menos de 40 publicações de organizações como universidades, agências governamentais, grupos ambientais e outras (Anexo I). As barreiras identificadas foram apresentadas para seis cientistas do NREL, que as validaram e deram uma nota de priorização, considerando a importância para a transição no uso de combustíveis alternativos e o quanto o fator representa um desafio. O mesmo questionário foi aplicado para 20 coordenadores do programa ambiental *Clean Cities*, de diversas regiões, que também pontuaram as barreiras. O resultado está apresentado na tabela 26 (quanto menor a nota, maior a importância e o desafio).

Barreiras	Literatura Rank	NREL Rank	Coord. CC Rank
Disponibilidade da infra-estrutura do combustível alternativo	1	1	1
Alto custo para a construção da infra-estrutura	3	8	2
Disponibilidade dos veículos que operam com combustíveis alternativos	8	3	3
Inconsistência das políticas públicas e do discurso da liderança	1	5	4
Competição contra economia de escala dos combustíveis convencionais	6	8	5
Falta de incentivos econômicos	10	5	5
Alto custo de aquisição dos veículos de combustível alternativo	6	2	7
Falta de conscientização dos consumidores e aceitação do mercado	8	8	8
Falta de serviços para os veículos de combustível alternativo, capacitação para	10	8	9

Barreiras	Literatura Rank	NREL Rank	Coord. CC Rank
manutenção e técnicos			
Falta de operadores treinados para os postos	10	8	10
Baixo desempenho percebido ou real dos veículos de combustível alternativo	3	8	11
Escassez dos combustíveis alternativos	10	8	11
Baixos preços do petróleo	3	3	13
Propriedades pobres dos combustíveis alternativos	10	5	14
Inconsistência das normas e padrões	10	8	15

Tabela 26 – Barreiras para o uso de veículos com combustíveis alternativos.
Fonte: MELENDEZ, 2006, p.7.

Das oito barreiras indicadas como as mais importantes, cinco delas são comuns a todos os grupos, ou seja, elas estão entre as oito apontadas por cada um deles. As cinco barreiras mais importantes e comuns, segundo os especialistas, são:

- Disponibilidade de infra-estrutura para o combustível alternativo;
- Alto custo para a construção da infra-estrutura;
- Disponibilidade dos veículos que operam com combustíveis alternativos;
- Inconsistência das políticas públicas e do discurso da liderança;
- Alto custo de aquisição dos veículos de combustível alternativo.

Quanto ao levantamento dos fatores incidentes sobre o uso de tecnologias menos poluentes para ônibus e caminhões no Brasil, realizado como parte deste estudo, ele ocorreu de forma semelhante ao do estudo do NREL. As barreiras foram identificadas na literatura a partir de 34 publicações nacionais e internacionais de instituições ligadas ao meio ambiente, organizações setoriais, órgão do governo americano, centros de pesquisas, etc. Já o levantamento com os especialistas ocorreu de maneira diferente ao da NREL. Nenhuma relação de fatores foi apresentada aos entrevistados. Eles foram perguntados, conforme questionário anexado ao trabalho, e responderam a partir de suas interpretações, experiências e conhecimentos.

Apesar do objetivo final do estudo da NREL ser diferente daquele definido para esta dissertação, as atividades para identificar as barreiras ao uso de veículos com combustíveis alternativos possuem alguma semelhança com aquelas realizadas para identificar os fatores incidentes sobre o uso de tecnologias menos poluentes no Brasil. Mesmo partindo de fontes literárias com poucos autores comuns e utilizando métodos para a coleta de dados em

campo com pequenas diferenças, os resultados foram bastante semelhantes entre ambos os estudos, conforme pode ser observado no quadro 5.

NREL	Literatura	Entrevistados
Baixos preços do petróleo	Baixo preço do petróleo	Baixo preço do petróleo
Alto custo de aquisição dos veículos de combustível alternativo	Custo elevado de produção da tecnologia	Custo elevado de produção da tecnologia
Alto custo para a construção da infraestrutura	Custo elevado para a introdução da tecnologia	Custo elevado para a introdução da tecnologia
Inconsistência das políticas públicas e do discurso da liderança	Políticas públicas inadequadas ou inexistentes	Políticas públicas inadequadas ou inexistentes
Escassez dos combustíveis alternativos	Risco de fornecimento do combustível alternativo	Risco de fornecimento do combustível alternativo
Disponibilidade da infraestrutura do combustível alternativo	Rede de abastecimento limitada	Rede de abastecimento limitada
Baixo desempenho percebido ou real dos veículos de combustível alternativo	Estágio de desenvolvimento da tecnologia	Estágio de desenvolvimento da tecnologia
Inconsistência das normas e padrões	Falta ou inconsistência de padrões	Falta ou inconsistência de padrões
Falta de conscientização dos consumidores e aceitação do mercado	Aceitação da tecnologia	Fatores culturais
Falta de incentivos econômicos	Risco do retorno financeiro	Falta de estímulos
Propriedades pobres dos combustíveis alternativos	Revenda dos veículos usados	Revenda dos veículos usados
Disponibilidade dos veículos que operam com combustíveis alternativos	Inexistência de indústria nacional	Inexistência de indústria nacional
Falta de operadores treinados para os postos	Interesses setoriais	Interesses setoriais
Competição contra economia de escala dos combustíveis convencionais	Elevado nível de enxofre no diesel	Elevado nível de enxofre no diesel
Falta de serviços para os veículos de combustível alternativo, capacitação para manutenção e técnicos	Impacto ambiental e sobre a saúde em razão da alternativa energética	Excesso de poder político e econômico dos atores do setor de transporte rodoviário
	Restrições legais ao uso de combustíveis alternativos	Falta de empresas públicas de transporte
		Desconhecimento da tecnologia
		Foco econômico excessivo
		Dificuldade em repassar os custos das novas

NREL	Literatura	Entrevistados
		tecnologias adquiridas
		Inexistência de commodity energética alternativa
		Fornecedor único de tecnologia
		Descumprimento da legislação ambiental
		Falta de atores para inserir tecnologias no mercado

Quadro 5 – Fatores que dificultam ou impedem o uso de tecnologias menos poluentes para veículos.
 Fonte: Elaboração própria a partir do estudo da NREL e os dados apresentados no tópico anterior.

Os fatores apresentados em destaque são aqueles comuns aos estudos. Dos quinze apresentados pela NREL, dez são comuns ao levantamento literário e as entrevistas parte desta dissertação. Desses dez fatores comuns, quatro deles são aqueles indicados no estudo da NREL como sendo as principais barreiras para a entrada de veículos movidos a combustíveis alternativos no mercado. O único que não faz parte dos dez é: disponibilidade dos veículos que operam com combustíveis alternativos.

Comparando os fatores identificados na literatura – coluna Literatura – com os obtidos durante as entrevistas – coluna Entrevistados –, dos vinte e três encontrados – coluna Literatura –, quatorze deles estão presentes em ambos os casos – coluna Literatura e Entrevistados. Alguns desses fatores são exclusivos quando comparados com aqueles do estudo da NREL – coluna NREL –, como, por exemplo: elevado nível de enxofre, revenda dos veículos usados e a inexistência de indústria nacional.

Outros fatores são inéditos, aparecem pela primeira vez durante as entrevistas, como: excesso de poder político e econômico dos atores do setor de transporte rodoviário, falta de empresas públicas de transporte e dificuldade em repassar os custos das novas tecnologias adquiridas.

4.3. Analisando os resultados

O trabalho comparativo, apesar de simples, permite inferir considerações extremamente relevantes. A primeira delas é que mesmo partindo de fontes de pesquisa diferentes em tempos distintos existe um consenso na literatura apurada quanto aos principais entraves para o uso de veículos movidos a combustíveis alternativos. Pode-se observar que esses fatores são os mesmos, independente do tipo de combustível alternativo ou do porte dos veículos consumidores.

A segunda é que apesar do consenso, existem diferenças contextuais entre os países, expressas em algumas das barreiras. No caso do Brasil os autores indicam os seguintes fatores que caracterizam o contexto nacional: a revenda dos veículos usados, algo que aparentemente não é um fator relevante nos Estados Unidos ou não ganhou a devida ênfase, podendo ter sido embutido em outro – referente à disponibilidade da infra-estrutura do combustível alternativo; a questão da ausência de indústria automobilística local para produzir e disponibilizar as tecnologias menos poluentes, fator desconsiderado pelo estudo externo em razão da existência das americanas Ford e GM; e por fim, o elevado nível de enxofre, algo que não faz mais parte da realidade americana e européia.

A terceira e última consideração refere-se à quantidade de fatores indicados pelos entrevistados. O total é superior ao obtido na literatura e na pesquisa da NREL, porém, a razão da diferença parece ser compreensiva. Os fatores que não constam no estudo americano, mas são comuns àqueles obtidos na literatura utilizada neste estudo, podem ser justificados pela utilização de autores nacionais na pesquisa, ou seja, existem fatores comuns tanto aos autores como aos entrevistados. A razão está no fato dos autores nacionais escrevem observando a realidade nacional e pesquisam baseados no contexto local.

Os demais fatores não presentes em nenhum dos levantamentos, apontados exclusivamente pelos entrevistados, são justificados pela especificidade do setor de transporte rodoviário de cargas e passageiros no Brasil. Alguns dos fatores inéditos evidenciam o foco aplicado pelos entrevistados sobre o setor e o conhecimento profundo do segmento, como: a falta de empresas públicas de transporte; o desconhecimento da tecnologia; a dificuldade em repassar os custos das novas tecnologias adquiridas; e o excesso de poder político e econômico dos atores do setor de transporte rodoviário.

4.3.1. Questões essenciais

Com base nas considerações e na relação dos fatores apresentados é possível afirmar que existem diferenças de obstáculos para introduzir tecnologias menos poluentes para ônibus e caminhões no Brasil e veículos a combustíveis alternativos. O próprio problema do enunciado ajuda a elucidar a razão de algumas das diferenças. Um trata especificamente de veículos pesados no Brasil e o outro de qualquer tipo de veículo no mundo. Essa condição é suficiente para afirmar que nem todas as supostas barreiras descobertas são iguais para ambos os casos, ou seja, segmentos e contextos distintos possuem obstáculos diferentes, assim sendo, as soluções provavelmente também o serão.

Algo aparentemente simples de deduzir, mas pouco aplicado. Seja na literatura ou a partir da opinião de alguns dos especialistas. É muito comum utilizarem uma abordagem

lato, sem ao menos destacarem a possível existência de especificidades para o trato com setores ou segmentos distintos. O risco está na proposição de ações compensatórias baseadas em segmentos distintos, podendo acarretar em resultados pouco eficientes, seja porque desconsiderou questões essenciais ou porque aplicou medidas desnecessárias. O uso desse sentido amplo para as barreiras ou dificuldades é cabível para alguns fatores, mas não para todos. O caso de uso de tecnologias menos poluentes para veículos pesados no Brasil é um deles, precisa ser analisado em suas especificidades, considerando características nacionais e locais. Por exemplo, medidas como aumentar o preço do combustível pode ser ineficaz para os ônibus e caminhões, diante da possibilidade de repasse dos custos aos usuários.

Outra questão que desperta a atenção refere-se ao caminho trilhado para definir as barreiras e suas respectivas soluções. Os levantamentos normalmente partem de uma abordagem tecnologias – barreiras, ou seja, a partir de uma tecnologia, busca-se identificar quais dificuldades ela enfrentará para ser utilizada. Muito comumente esse processo é realizado comparando a tecnologia nova e as existentes. A partir das supostas vantagens e desvantagens são definidas as possíveis barreiras. Apesar de atrativa, a abordagem apresenta forte viés e desconsidera outros motores da transformação, ou seja, fatores outros que poderiam induzir ao uso da tecnologia. Essa forma de tratar o problema explica a causa, mas não se aprofunda sobre o fenômeno. Feitas essas considerações é possível seguir para o próximo tópico, que aprofundará essa discussão.

4.4. Novos fatores

Considerando somente identificar os fatores que dificultam ou impedem o uso de tecnologias menos poluentes para ônibus e caminhões no Brasil, a este ponto seria possível encerrar o trabalho, indicando os obstáculos encontrados e citados no quadro 5, contudo, permanece a sensação de que o problema vai além daquilo que foi apresentado. Por essa razão, em busca de respostas para a idéia de que podem existir outros fatores, cabe seguir um pouco mais na tentativa de identificá-los, impulsionado pela possibilidade de explicarem a permanente manutenção do *status quo* do domínio do petróleo sobre o setor de transportes rodoviário no Brasil.

Ao analisar cada uma das barreiras apresentadas em todos os levantamentos, inevitavelmente grande parte delas está fortemente ligada às questões econômicas e é exatamente este o viés comum aos estudos. Os fatores ou barreiras são orientados por uma perspectiva mercadológica. Nesse tipo de abordagem o cerne da questão está na relação investimento financeiro – retorno financeiro. De forma breve, os problemas são orientados por questões de mercado, conduzidos pelas regras e motivações intrínsecas aos negócios.

O predomínio das questões de mercado não implica que somente elas são relevantes e podem conduzir a inserção de tecnologias. Acreditar somente nas questões econômicas leva a idéia que se a relação investimento *versus* retorno um dia não for central, os combustíveis serão tratados até ficarem completamente limpos, os veículos serão produzidos com sistemas de tratamento de emissões, diversas alternativas energéticas serão produzidas em grandes quantidades, existirão amplas redes de distribuição e abastecimento de combustíveis, grande quantidade de empresas pesquisarão e desenvolverão novas tecnologias, etc. O problema é que isso não parece ser uma verdade.

As mudanças precisam de fatores realmente motivadores para que aconteçam. Todos se perguntarão o porquê de mudar. Segundo DeCicco (2003, p.3), existem algumas racionalidades para a mudança nos veículos automotores, dentre elas estão os fatores que causam preocupação pública, como a saúde pública, o aquecimento global e a segurança energética. Tomando por base o autor e os relatos históricos, é possível perceber que o mercado não é o único motivador para o uso de tecnologias alternativas, além dele existem outros, como: o risco de colapso em razão da falta do petróleo ou da súbita elevação em seu preço; a percepção por parte da sociedade e do governo dos grandes impactos ambientais decorrentes do uso do petróleo e seus derivados; e por fim, a notoriedade dos grandes danos provocados pelo uso dos derivados do petróleo na saúde das pessoas.

4.4.1. Mercado

Uma das razões que levariam ao desenvolvimento de novas tecnologias é a oportunidade de novos negócios. Algumas empresas percebem a possibilidade de ganhos se investirem no desenvolvimento de alternativas energéticas ou outros tipos de tecnologias menos poluentes para o setor de transportes. Ocorre que transformar um setor somente pelas forças de mercado não é algo simples. Depende de forte inter-relação entre setores e o governo. Alguém precisa produzir a tecnologia e disponibilizá-la, outro precisa montar a infra-estrutura necessária a oferecê-la, o governo precisa regulamentar a operação e, se for o caso, disponibilizar crédito, os consumidores devem estar dispostos a adquirir a tecnologia e assim por diante.

Na realidade esse processo é muito mais complexo que parece e essa é uma das razões das dificuldades no uso de tecnologias alternativas, motivadas somente pelas forças de mercado. A questão central nesse tipo de motivação é por onde começar o processo de transformações. Esse dilema é mencionado por DeCicco (2003, p.1), ao afirmar que a clássica questão na política energética de transportes é: o que vem primeiro, o veículo ou o combustível? Ou ainda, o que vem primeiro, a solução ou o compromisso em resolver o problema?

Entrar em um mercado concorrendo com o petróleo e se manter por longo prazo é uma atividade de grande complexidade. As tecnologias atuais de extração permitem obter grandes quantidades do óleo em curto espaço do tempo, sua densidade energética é extremamente elevada, a tecnologia de produção e uso está madura e dominada há anos, a rede de distribuição está montada e tem alcance mundial, o transporte do produto é fácil diante dos recursos disponíveis e a estocagem oferece uma das melhores relações de energia por volume. Esses são somente alguns dos pontos que colaboram para o surgimento das barreiras apresentadas.

4.4.2. Risco de colapso

Outro elemento motivador é o risco de colapso de um país em razão da indisponibilidade do petróleo. A possibilidade de um colapso é um fator motivador suficientemente capaz de implantar uma tecnologia alternativa, desconsiderando quase todos os itens apresentados como barreiras, ou seja, aquilo que se apresentada como algo impeditivo, perde sua condição por força do contexto. Em situações extremas de risco as questões de mercado são deixadas de lado.

Os choques do petróleo na década de 1970 são exemplos de risco. Os debates para o uso do álcool como combustível surgiram ainda no começo dos anos da década de 1930 e foram reforçados durante a 2ª Guerra Mundial “devido à generalizada psicose da falta de combustível” (NATALE NETTO, 2007, p.135). Apesar do amplo debate a respeito do combustível, a solução que mais avançou foi o uso do gasogênio, porém, o fim da guerra trouxe nova calma e esquecimento, até 1973, quando ocorreu o primeiro choque do petróleo.

A partir desse momento a história comprova a capacidade motivadora de transformações que o risco oferece. Entre os anos de 1973 e 1978, com a súbita elevação no preço do petróleo, as despesas nacionais de importação do óleo aumentaram de US\$ 600 milhões para mais de US\$ 2 bilhões e as despesas gerais de US\$ 6,2 bilhões para US\$ 12,6 bilhões, condição que poderia levar o País a parar se a situação política no Oriente Médio fosse agravada (NATALE NETTO, 2007, p.166). Em 1979 finalmente um grande esforço foi realizado para resolver o problema, tendo o álcool como pilar da transformação. As montadoras assinaram um protocolo com o governo se comprometendo a fabricar veículos a álcool. O governo em contrapartida garantiu a produção do combustível em quantidade necessária para manter a frota circulante e a disponibilizá-lo de forma satisfatória em todo o território nacional (NATALE NETTO, 2007, p.225).

Superando todas as barreiras de mercado, a tecnologia do álcool entrou em uso. A produção nacional de veículos saltou de zero em 1978 e chegou a ultrapassar as 619 mil

unidades/ano em 1986 (ANFAVEA, 2008, p.56). Em razão da queda no preço do petróleo e da estabilidade das regiões produtoras no Oriente Médio o risco de um colapso passou e mais uma vez o álcool começou a ser esquecido, com quedas anuais significativas na produção de veículos movidos com o biocombustível, que chegou a 1075 unidades em 1997, decretando novamente o adormecimento do combustível.

4.4.3. *Questão ambiental*

A questão ambiental é um fator com grande potencial de motivar a entrada de tecnologias alternativas menos poluentes para o setor de transportes, entretanto, para que isso aconteça é necessário que a sociedade e o Estado percebam os impactos do uso de combustíveis derivados do petróleo, principalmente de forma direta. Localidades com problemas de poluição excessiva e com danos ambientais percebidos tendem a buscar soluções para minimizar os impactos. A Cidade do México, São Paulo e Los Angeles são alguns dos exemplos de transformações em razão do impacto ambiental. Elas estavam entre as cinco mais poluídas do mundo em meados da década de 1990 (MAGE *et al.* 1996, p.683).

O problema da questão ambiental é que apesar de poder ser considerada global – no caso da emissão de CO₂ – ocorre em dimensões locais, ou seja, a percepção do problema e os impactos visíveis ocorrem no local de origem das emissões. Essa condição leva cidades ou estados a promoverem, de forma isolada, movimentos para reduzir as emissões. Tomando por exemplo o caso brasileiro, a cidade de São Paulo, impulsionada pela poluição, montou a maior rede nacional de monitoramento da qualidade do ar, com trinta unidades fixas e quatro móveis, capazes de medir emissões tanto industriais como do setor de transportes (CETESB, 2008, p.28) e executou diversos projetos para o uso de tecnologias menos poluentes, como aquelas mencionadas no capítulo anterior.

Como os impactos ambientais aparentes são localizados, a noção do problema e as conseqüências não são percebidas por grande parte da sociedade e do Estado. Os riscos ambientais, ainda que ofereçam a possibilidade de alcançarem dimensões catastróficas, não são associados ou são desconsiderados por aqueles que estão mais distantes da origem do problema. A falta de consciência coletiva ou de medo das conseqüências da degradação enfraquece o fator que poderia motivar a mudança, ou seja, a preocupação com a questão ambiental.

4.4.4. *Saúde humana*

Os fatores motivadores do uso de tecnologias menos poluentes, em razão dos danos provocados à saúde humana, possuem algumas semelhanças com aqueles ligados aos problemas ambientais. Ambos são estimulados pela emissão de poluentes atmosféricos, normalmente os efeitos negativos são aparentemente localizados e as ações reparadoras costumam ter caráter restrito. Quanto às diferenças, no caso do impacto sobre a saúde, os danos provocados pelas emissões de veículos são mais evidentes e alguns deles podem ser convertidos em custos, o que de certa forma pode auxiliar em análise, principalmente por parte do Estado.

Um levantamento realizado pela *World Health Organization* (2007) apresentou a quantidade de mortes decorrentes da poluição atmosférica no ano de 2002 em todo o mundo. Ao total foram 865 mil pessoas, estando a China no topo do ranking, com 275.600 mortes, seguida pela Índia, com 120.600 e os Estados Unidos, com 41.200. Um estudo realizado em Estocolmo com 3.408 homens, com idades entre 40 e 75 anos, dentre eles 1042 com câncer de pulmão, demonstrou que a exposição a poluentes atmosféricos, como NO_x e NO₂, durante o tráfego ou durante o trabalho, por períodos de 20 a 30 anos podem aumentar o risco de câncer em até 40% (NYBERG *et al.* 2000, p.487). Um estudo preparado pela *California Environmental Protection Agency* estimou que as emissões de NO_x e MP de caminhões que circularam na Califórnia no ano de 2005 foram as responsáveis por 4500 mortes prematuras e diversos outros problemas de saúde, resultando em gastos anuais de aproximadamente 40 bilhões de dólares (UNION OF CONCERNED SCIENTISTS, 2008).

Diferentemente da questão ambiental que possui o recurso do apelo global, em razão de seus impactos, as questões de saúde são mais limitadas. Não é comum observar campanhas globais em defesa das emissões que afetam a saúde das pessoas ou ações voltadas para reduzir a quantidade de mortes. O gás que causa o efeito estufa não é nocivo ao homem e os gases que prejudicam a saúde do homem, não cooperam para o aquecimento global. Por essa razão, nesse ponto os interesses sobre as emissões se separam. Novamente a falta de percepção por parte da sociedade e do Estado dos danos reais e a baixa conscientização coletiva não permitem motivar o início de um processo de transformações.

4.5. O caso brasileiro

Os fatores motivadores da mudança estão diretamente relacionados com as condições de cada país e seus respectivos contextos. O peso que cada fator terá sob o uso de tecnologias menos poluentes dependerá de sua urgência. No caso do Brasil, alguns desses fatores possuem baixo grau de urgência, já outros são um pouco mais elevados. A

apresentação que se sucederá tem por objetivo mostrar a urgência desses fatores no País e seu papel na mudança.

4.5.1. *Forças do mercado*

A introdução de uma tecnologia é um fenômeno complexo, porém, o País obteve algumas lições no passado. Quando se fala em introduzir uma alternativa energética, o caso do etanol no Brasil é o melhor exemplo de transformação por forças exclusivas de mercado, sem risco eminente ou impactos percebidos. O desenvolvimento do sistema *flexfuel* representou uma revolução e uma forma altamente competitiva de superar diversas barreiras de mercado, incluindo grande parte daquelas indicadas em tópico anterior.

O País possui diversas tecnologias menos poluentes para serem introduzidas, inclusive para veículos pesados, e demonstrou através de sua história estar aberto a mudanças. De fato, as condições energéticas brasileiras – grandes reservas – e a estrutura do transporte rodoviário de cargas e passageiros – rodoviário e a diesel – representam grandes barreiras. Porém, sistemas semelhantes ao *flexfuel*, como o *bifuel*, utilizando GNV ou outros combustíveis, podem auxiliar as mudanças de veículos pesados no Brasil.

4.5.2. *Segurança energética*

Além das descobertas do pré-sal na Bacia de Santo, no final do mês de novembro, a Petrobrás informou a descoberta de mais uma reserva no pré-sal, localizado no Espírito Santo, abaixo dos campos de óleo pesado de Baleia Franca, Baleia Azul e Jubarte, com capacidade de 2 bilhões de barris de petróleo de boa qualidade – 30 graus na classificação da ANP (RUHMAN; GOMES, 2007). A condição do Brasil que era extremamente confortável em termos de reservas melhorou ainda mais, alavancando sua posição entre os dez países com as maiores reservas de petróleo do mundo.

As recentes descobertas reduzem significativamente o risco de fornecimento petróleo, considerando o histórico de consumo nacional. Essa condição traz relativa tranquilidade e conseqüentemente reduz as chances de crise financeira ou energética decorrente de problemas com o petróleo, considerando a possibilidade de extração e uso das reservas encontradas. Essa situação desestimula a busca de soluções motivadas pelo fator risco e estimula a atual condição do transporte de veículos pesados. Nesse caso, o uso de alternativas e tecnologias menos poluentes passa a depender ainda mais de fatores de mercado ou em razão de seu impacto no meio ambiente ou sobre a saúde das pessoas, do que necessariamente do risco, condição pouco provável em médio prazo.

4.5.3. Emissões e o meio ambiente

Em termos de emissões de gases de efeito estufa o Brasil ocupa a posição de quinto maior emissor do mundo. Sob esse aspecto a questão ambiental parece ganhar força suficiente para inserir as referidas tecnologias menos poluentes, porém, ao analisar os dados em sua totalidade a realidade é bem diferente. Da quantidade total de emissões de gases de efeito estufa realizada pelo Brasil, 81% provém de atividades relacionadas ao uso da terra e desmatamento, principalmente em razão da expansão das fronteiras agrícolas na região amazônica. As emissões de gases de efeito estufa brasileiras provenientes da queima de combustíveis, quando comparadas a outros países como China, Rússia e Índia são muito pequenas, representam apenas 1,2% das emissões globais. Dentro do setor energético os subsetores que mais contribuem para a emissão de GEF são o de transportes, como 42% em 2005 e o industrial, com 32% nesse mesmo ano (OECD/IEA, 2007, p.32).

Se a análise se restringir aos veículos pesados, apesar de serem os maiores emissores de CO₂ no setor de transportes rodoviário, conforme apresentado no capítulo 1, a emissão ainda é baixa em termos mundiais. Quanto à emissão de outros componentes danosos ao meio ambiente, ela é restrita a alguns centros urbanos e as conseqüências não são percebidas por grande parte da sociedade. Apesar das emissões dos veículos pesados, a condição ambiental do Brasil não é suficientemente capaz de estimular a entrada de tecnologias menos poluentes. Essa situação é percebida pela defasagem da legislação nacional e por seu descumprimento.

4.5.4. Emissões e a saúde

Existem diversas publicações na tentativa de evidenciar os danos provocados pela poluição ambiental, em especial aquela emitida por veículos. Um estudo feito por Marcílio e Gouveia (2007, p.532), analisou outros 22 estudos realizados no Brasil ligados aos impactos das emissões de PM₁₀ na saúde das pessoas. O levantamento estimou aproximadamente 614 mortes de idoso e 47 de crianças por ano no Brasil, decorrentes das emissões, somente de micro partículas. Em contrapartida, devido à aplicação do programa PROCONVE na Região Metropolitana de São Paulo, entre o período de 1996 a 2005, estima-se que foram evitadas 14.495 mortes por problemas cardiovasculares, doença pulmonar obstrutiva crônica e câncer no pulmão provocadas pela emissão de PM_{2.5} (ECONOMIZAR; CONPET, 2006, p.14).

As emissões de veículos pesados possuem um papel central na causa de danos a saúde das pessoas, conforme os estudos apresentados e diversos outros publicados. Esse talvez tenha sido um dos fatores que mais motivou mudanças, como no caso da cidade de

São Paulo. Nas demais localidades onde a poluição não é percebida e seus danos a saúde não são co-relacionados aos veículos pesados, esse deixa de ser um fator motivador da mudança e instrumento para a conscientização.

Não somente as emissões, mas os demais fatores motivadores da mudança demonstram que a introdução de uma tecnologia para reduzir as emissões de ônibus e caminhões é um processo extremamente complexo. Esse capítulo permitiu concluir que as mudanças não dependem somente da superação das supostas barreiras descritas anteriormente nos estudos e pelos especialistas, mas também do contexto e das condições presentes em cada local. Depois de analisados todos esses fatores, a seguir alguma conclusões e recomendações do estudo.

CONCLUSÕES

A questão do uso de tecnologias menos poluentes para veículos pesados tem na formação da matriz de transportes nacional uma de suas causas. A predominância do modal rodoviário e a opção por veículos a diesel conduziram o modelo de desenvolvimento econômico nacional e de outros setores. A indústria local de ônibus e caminhões foi orientada a produzir veículos a diesel e a Petrobras designada a sempre atender as demandas pelo combustível. Essa condição deu origem a uma matriz de difícil reversão, não somente para os veículos como também para o combustível, que tem no diesel seu carro chefe.

O País tentou por algumas vezes alterar um pouco essa condição, com veículos pesados a gasolina, elétricos, a etanol e GNV, porém, as experiências não ganharam grandes proporções. Nesse sentido o presente estudo teve como objetivo identificar os fatores incidentes sobre o uso de tecnologias menos poluentes para ônibus e caminhões no Brasil, com o intuito de orientar as ações destinadas a reduzir os efeitos da poluição de veículos pesados sobre a saúde e o meio ambiente.

A análise de todo o histórico do setor de transportes rodoviário e das políticas públicas ligadas ao objeto do estudo, em conjunto com a identificação do atual estágio de desenvolvimento tecnológico nacional e internacional, ajudaram na identificação dos fatores incidentes sobre o uso das tecnologias supracitadas. Além disso, esse levantamento serviu como base para refutar ou validar hipóteses encontradas durante a construção do trabalho e permitiu algumas constatações.

A primeira delas ocorreu por meio do levantamento das tecnologias disponíveis para uso no Brasil, que dispõe de acesso a um conjunto delas, algumas prontas para serem utilizadas em ônibus e caminhões. Além disso, o País detém o conhecimento necessário para operá-las. Essas tecnologias são fornecidas por empresas nacionais e por multinacionais, como sistemas de pós-tratamento, combustíveis e sistemas de propulsão alternativos. Significativa parcela delas está disponível, porém, não são comercializadas por motivos os mais variados, incluindo as barreiras e dificuldades apresentadas. A condição encontrada permite afirmar que a falta de uso dessas tecnologias em veículos pesados não está associada a sua indisponibilidade, ou seja, existem outros pontos, que não a capacidade de produzi-las, o acesso ou a disponibilidade.

A pesquisa realizada serviu, em um segundo momento, para identificar os fatores que atuam sobre o uso das tecnologias, em especial, sob a perspectiva de mercado. O levantamento e comparação com o estudo da NREL foi de grande relevância, pois permitiu constatar que alguns deles representam um consenso entre todas as fontes de pesquisa, porém, ficou evidente que cada contexto pesquisado possuiu algumas barreiras próprias. O

estudo demonstrou que as dificuldades a serem enfrentadas variam de acordo com a localidade – país – e com o segmento – pesados e leves. Os fatores mapeados durante a pesquisa, além de sua própria relevância, considerando a possibilidade de usá-los como base para a tomada de decisão de empresas ou do governo, foram indispensáveis para conduzir a uma nova constatação.

O uso de tecnologias menos poluentes está condicionado não somente a superar barreiras, mas também a condições motivadoras. A inexistência de barreiras não necessariamente implica no uso das alternativas. Para que isso ocorra é mister que haja um fator impulsionador. O trabalho conduziu essencialmente a identificação de quatro fatores motivadores: mercado, risco, meio ambiente e saúde. Cada um possui suas barreiras próprias e específicas, porém, algumas também são comuns, variando o grau de dificuldade para solucioná-las, conforme a urgência do fator.

Como normalmente as empresas estão sempre em busca de oportunidades de novos negócios é comum que atuem constantemente como agentes da transformação. Por essa razão, muitos dos fatores indicados como barreiras estão relacionados a questões comerciais. Existe um viés não somente nos estudos, mas na percepção dos entrevistados, que relacionam fortemente novas tecnologias às regras convencionais de mercado, ou seja, as barreiras essencialmente estão ligadas a relação de retorno financeiro.

Iniciativas para o uso de tecnologias menos poluentes, como no estado da Califórnia (BOESEL, 2006, p.8), em Estocolmo ou até mesmo em São Paulo, comprovaram que existem outros fatores motivadores, além daqueles de mercado, capazes de promover a inserção de novas tecnologias. Nesse sentido o estudo partiu da perspectiva da motivação para identificar possíveis condições que representam barreiras ou são impulsionadoras para o uso das tecnologias menos poluentes em veículos pesados no Brasil.

Com relação ao fator motivador de mercado, essencialmente suas barreiras ou dificuldades enfrentadas para a introdução de tecnologias estão associadas ao retorno sobre investimento. Todas aquelas que representam, de alguma forma, perdas financeiras, estão ligadas aos fatores de mercado. O custo de produção ou introdução, o gasto com combustível, etc., são alguns dos exemplos (ver outras no quadro). O mercado tem limites de atuação, como concorrência e regulação, por esse motivo, a força desse fator é limitada, caso contrário, as corporações determinariam as tecnologias e todos seriam obrigados a utilizá-las, independente do custo. A prova da estabilidade está nos estudos consultados. Alguns deles possuem muitos anos de publicados, mas ainda assim os fatores permanecem até hoje, como o caso do custo associado ao hidrogênio.

Outro fator motivador está associado ao risco energético. Quando um país corre o risco de colapso em razão de desabastecimento ou da elevação súbita e prejudicial do preço do petróleo, esse será um fator motivador. Quanto mais urgente ou intenso os riscos,

menores serão as barreiras. O caso da história do etanol no Brasil exemplifica muito bem essa situação. Durante os choques do petróleo o País se mobilizou de tal maneira que conseguiu introduzir de forma maciça o álcool, em um espaço muito curto de tempo, superando todos os fatores impeditivos. Aquilo que não conseguiu fazer em décadas, realizou em poucos anos. Atualmente com as novas descobertas de petróleo no Brasil, o risco energético para o setor praticamente foi extinto no médio prazo. Nesse sentido o grande fator impeditivo para as novas alternativas energéticas são as reservas disponíveis de petróleo.

Além do petróleo, existe outro fator capaz de promover mudanças tecnológicas, o meio ambiente. Quanto maiores às emissões de gases de efeito estufa, maiores serão as pressões externas e quanto maiores os danos locais, maior a percepção do problema. Apesar da contribuição do setor de transportes para o aquecimento global, no caso brasileiro, esse fator tem pouco peso, menos de 1% das emissões globais. Fora a baixa participação nas emissões globais, os demais poluentes emitidos pelos veículos pesados são pouco percebidos e considerados. Por essas razões, as duas grandes barreiras que atuam sobre o fator meio ambiente é o baixo impacto dos veículos pesados nas emissões globais de CO₂ e a falta de percepção da sociedade e do Estado dos reais danos provocados por outros poluentes atmosféricos emitidos pelos ônibus e caminhões.

Por fim, a questão da saúde. Quanto mais evidente os danos sobre a saúde das pessoas, maior será a motivação para a mudança. A Califórnia percebeu os impactos e priorizou a redução das emissões (CEPA, 2005, p.13), assim como São Paulo. Ambos representam bem essa condição de evidência. No Brasil o impacto sobre a saúde, apesar de restrito aos grandes centros urbanos, consegue estimular algumas mudanças. A queda nas emissões ao longo dos anos em São Paulo e as constantes tentativas de utilizar tecnologias alternativas, em partes, refletem a preocupação com a questão do impacto sobre a saúde. Ainda que de grande relevância, o fator não é urgente o suficiente para superar as dificuldades de uso de outras tecnologias. A barreira associada à questão da saúde também se refere à falta de percepção da sociedade e do Estado quanto aos reais impactos das emissões sobre a saúde do homem.

Os relatos históricos demonstram que quanto mais urgentes e intensos os fatores motivadores, menores serão as barreiras. No caso do Brasil, algumas condições desestimulam o uso de tecnologias menos poluentes para os veículos pesados, como as reservas de petróleo e alguns indicadores ambientais, porém, como mencionado no início do trabalho, a tendência de constante expansão do transporte rodoviário de cargas e passageiros, associado à tendência no consumo dos derivados do petróleo, em especial, do óleo diesel, indica a necessidade de promover algumas mudanças, antes que os fatores motivadores ganhem força pelas conseqüências negativas das emissões.

Simplemente desconsiderar as reservas de petróleo e partir para outra alternativa energética ou considerar a possibilidade de competir com o petróleo ao ponto de substituí-los é algo pouco provável diante das reservas nacionais e das características do combustível. Para países como os Estados Unidos, altamente dependentes de petróleo externo e sujeitos à forte risco, essa pode ser uma opção viável, por isso talvez sejam esses os países pioneiros na mudança, entretanto, mesmo diante da condição nacional, isso não impede que parcelas de determinados mercados sejam ocupadas por outras fontes energéticas, assim como sejam utilizadas tecnologias de pós-tratamento em veículos pesados. O primeiro passo nesse sentido está na redução ou eliminação das barreiras que atuam sobre os fatores impulsionadores da mudança. Esse é um papel que cabe a todos os envolvidos nas questões ambientais, energéticas e de transporte.

Recomendações

A utilização de tecnologias que resultem em menores emissões dos veículos pesados no Brasil, além de obrigatória é uma condição essencial para a consolidação de um modelo de desenvolvimento sustentável. O caminho para evitar possíveis danos catastróficos e irreparáveis está na superação antecipada das barreiras, especialmente aquelas ligadas às questões ambientais e de saúde. Quanto mais intenso o fator motivador, menores serão suas barreiras, e nesse sentido vale utilizar qualquer um deles para eliminá-las.

A mudança poderá ocorrer pelas livres forças do mercado ou por meio da intervenção do Estado. Apesar de algo extremamente complexo, as empresas são capazes de prover soluções alternativas motivadas por questões de mercado. Um bom exemplo é o caso do veículo *flexfuel* no Brasil, que permitiu introduzir uma nova tecnologia com custo adicional extremamente baixo, cerca de 100 dólares (RIBEIRO *et al.* 2007, p.342). Quando a venda de veículos *flex* alcançou determinado volume constituiu um mercado consumidor para os produtores de etanol, distribuidores e redes de abastecimento, sem oferecer riscos ao investimento. A condição mínima era oferecer um preço competitivo, em comparação à gasolina, para ampliar a quantidade de usuários, sem enfrentar o problema de competir com a escala de mercado dos combustíveis fósseis. Até mesmo a limitação da rede de abastecimento não representou um problema, pois a falta do álcool era compensada pelo uso da gasolina.

No caso dos veículos pesados, o grande desafio será desenvolver veículos híbridos e tecnologias *bifuel* ou *flexfuel* utilizando etanol, hidrogênio e GNV. Para as próximas alternativas energéticas o objetivo será garantir todos os fatores estruturais e comerciais antes da produção e comercialização do combustível – algo plausível diante da possibilidade de criar um mercado consumidor antes mesmo de ser produzido –, por meio da introdução de uma **tecnologia-ponte** de baixo custo, integradora de duas fontes de

energia. Sob o ponto de vista das empresas que irão utilizar as tecnologias, o retorno financeiro deve ser certo e explícito. Não basta dispor das tecnologias, mas será necessário convencer os empresários, que apesar de orientados pelo fator lucro, muitas vezes perdem oportunidades lucrativas pela falta de informações, limitação de tempo e falta de atenção (PORTER, 1999, p.283).

O outro caminho da mudança é por meio da intervenção do Estado, promovendo políticas públicas adequadas e estimuladoras. Como parte do questionário (Apêndice A e B) aplicado aos entrevistados, a última pergunta se referia a existência de políticas públicas adequadas para a introdução de tecnologias menos poluentes para ônibus e caminhões no Brasil. A resposta de todos os entrevistados foi unânime: não existe. Para eles o problema reside principalmente nas políticas energéticas e ambientais. Dentre os problemas indicados pelos entrevistados estão:

- Baixo volume de recursos destinados às pesquisas;
- Ausência da aplicação de mecanismos de compra como fator estimulante – governo prioriza a compra e uso de tecnologias limpas;
- Inexistência de subsídios para combustíveis limpos;
- Falta de linhas de financiamentos para veículos pesados movidos a etanol ou GNV, em especial pelo BNDES;
- Insuficiência da avaliação do impacto sobre a saúde e o meio ambiente causado pelos veículos pesados;
- Estímulo ao uso de veículos mais poluentes – quanto mais velho, menos impostos paga;
- Omissão quanto à socialização dos impactos e retenção dos lucros pelos poluidores;
- Foco excessivo no petróleo – elevados investimentos e benefícios para pesquisa, exploração e uso, principalmente do óleo diesel por meio dos subsídios;
- Falta de estímulos à diversificação da matriz energética para veículos pesados de cargas e passageiros;
- Legislações pouco eficientes – os limites de emissões ainda são elevados quando comparados com outros países;
- Falta de uma política que restrinja o uso de combustíveis para determinados setores, como no caso do diesel, porém, para alternativas mais limpas;
- Inexistência de mecanismos de compartilhamento de riscos associados às pesquisas e comercialização de novas tecnologias;
- Ausência de incentivos *voluntariados*⁴¹;
- Descompasso entre as políticas energéticas e de meio ambiente;

⁴¹ Mecanismo de redução de tributos para estimular o desenvolvimento de novas tecnologias.

- Inexistência de políticas locais – as regras de controle da poluição de São Paulo não podem ser aplicadas em Brasília, por exemplo, e nem a matriz energética deve ser a mesma, considerando as diferenças e tipos de frotas;
- Descumprimento da legislação ambiental – tanto para os novos veículos como os antigos, que deveriam ser submetidos aos programas de inspeção;
- Inexistência de política que contemple a mudança sem grandes saltos – transformação no longo prazo.

Os problemas apresentados podem ser considerados como desdobramentos de uma das barreiras apresentadas no último capítulo, ou fatores capazes de impulsionar o processo de mudança. Independente da interpretação dos problemas apresentados, a resolução de alguns deles é fundamental para estimular a entrada de tecnologias menos poluentes. Inevitavelmente as políticas energéticas e ambientais precisarão ser revisadas no tocante aos ônibus e caminhões utilizados no transporte de cargas e passageiros.

Antes de qualquer ação o primeiro passo deve ser exigir o cumprimento da legislação existente, em especial no ponto que trata do nível de enxofre contido no diesel. O cumprimento desse dispositivo permitirá o uso de tecnologias de pós-tratamento para os ônibus e caminhões, em curto espaço de tempo, e será a maneira mais rápida de introduzir uma tecnologia menos poluente para esse tipo de veículo. Obviamente que não somente a questão do enxofre deve ser cumprida, mas toda a legislação, inclusive os programas de inspeção, que não resultarão em tecnologia menos poluente, mas cooperação para a redução das emissões.

Outro ponto é o aperfeiçoamento da legislação ambiental. A primeira medida deve ser a eliminação da defasagem da legislação nacional em comparação à européia. A atual etapa do PROCONVE, conhecida por L5, equivale em termos de limites de emissões ao padrão europeu chamado de EURO III, já ultrapassado. A nova fase do programa, prevista para entrar em vigor no começo do próximo ano, porém, já adiada, chamada de L6, equivaleria ao EURO IV, padrão que ficará ultrapassado em 2009. Além da eliminação da defasagem, as legislações deveriam contemplar a emissão de CO₂ e o controle das partículas inferiores a 2,5 µm.

Um ponto central para estimular a introdução de tecnologias menos poluentes será a criação de uma política que contemple de forma integrada as questões ambientais e energéticas voltadas à mobilidade. Essa política será o motor capaz de eliminar grande parte das barreiras ao uso de tecnologias menos poluentes. Inevitavelmente terá que tratar de todos os tipos de veículos, porém, cada um segundo suas especificidades. Deverá considerar o setor de transportes, a matriz energética brasileira, as tecnologias disponíveis e os impactos das emissões sobre o meio ambiente e a saúde.

Essa será uma maneira de antecipar os fatores motivadores da mudança, que certamente ocorrerão, seja pela conscientização, ainda em tempo de evitar maiores danos causados ao meio ambiente e às pessoas, ou como consequência dos impactos catastróficos. Nesse sentido, este estudo representa um simples complemento aos que já foram realizados e deve ser somado a outras novas pesquisas mais focadas, particularmente, nas motivações para o uso de tecnologias menos poluentes no segmento de veículos pesados baseadas, exclusivamente, em questões ambientais e de saúde. Certamente a complexidade do tema não permite encerrar o assunto, mas o que se espera é que o estudo tenha sido capaz de demonstrar, sob uma nova perspectiva, os fatores incidentes sobre o uso de tecnologias menos poluentes para ônibus e caminhões no Brasil e que tenha fornecido as sugestões iniciais para a solução do problema.

Ao encerrar o estudo fica a esperança que a sociedade e o Estado percebam os reais impactos do transporte rodoviário, particularmente dos veículos movidos a diesel, sobre o meio ambiente e a saúde das pessoas, antes mesmo que os danos sejam evidentes ao ponto de se tornarem emergenciais ou desastrosos. As transformações não precisam acontecer baseadas nas vantagens numéricas, exatamente no ponto em que os gastos com as emissões são superiores à prevenção, conduzindo a idéia de que somente naquele momento vale mais a pena prevenir, até porque essa conta não é capaz de contabilizar as vidas perdidas e os danos causados ao meio ambiente, incapazes de serem mensurados no presente e muito menos no futuro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADELAIDE CITY COUNCIL - ACC. **Tindo Solar Bus**. Austrália: ACC, 2008. Seção Solar. Disponível em: <http://www.adelaidecitycouncil.com/scripts/nc.dll?ADCC:STANDARD::pc=PC_151048>. Acesso em: 07 out. 2008.

AGÊNCIA BRASIL. Infraero estuda uso de biocombustível em aeroportos. **O Estado de São Paulo Digital**. São Paulo, jun. 2008. Disponível em: <http://www.estadao.com.br/economia/not_eco185052,0.htm>. Acesso em: 15/10/2006.

AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO - ANP. **Dados Estatísticos Mensais. Importações e exportações**. Disponível em <http://www.anp.gov.br/petro/dados_estatisticos.asp>. Acesso em: 02 mar. 2008a.

_____. **Dados Estatísticos Mensais**. Produção de biodiesel. Disponível em <http://www.anp.gov.br/petro/dados_estatisticos.asp>. Acesso em: 24 jun. 2008b.

_____. **Boletim Mensal do Gás Natural: referência janeiro/2008**. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/doc/gas/2008/boletimgas_200801.pdf>. Acesso em: 24 jun. 2008c.

_____. **Glossário ANP**. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/glossario/index.asp?strAlpha=O>>. Acesso em: 15 ago. 2008d.

AGRA CEAS CONSULTING; F.O. LICHT. **How Canada ranks: a comparative study of national biofuels policies world-wide**. The Canadian Renewable Fuels Association, 2006. Disponível em <<http://www.greenfuels.org/news/March-28-2006.pdf>>. Acesso em: 29 de maio 2008.

AHMED, Irshad. **Oxygenated Diesel: Emissions and Performance Characteristics of Ethanol-Diesel Blends in CI Engines**. New York: Society of Automotive Engineers, Inc, 2001.

ALVES, João Wagner Silva. **Diagnóstico técnico institucional da recuperação e uso energético do biogás gerado pela digestão anaeróbia de resíduos**. Dissertação de Mestrado, 2000 [142p] (Mestrado em Energia). Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia. Universidade de São Paulo, 2000.

AMERICAN METHANOL INSTITUTE. **Beyond the internal combustion engine: the promise of methanol fuel cell vehicles**. Washington: AMI, 2001.

AMYRIS. **Advanced Renewable Fuel**. California: AMYRIS, 2008. Disponível em: <http://www.amyrisbiotech.com/index.php?option=com_advancedfuel&Itemid=52>. Acesso em: 16 out. 2008.

ANFAVEA. **Indústria Automobilística Brasileira: 50 anos**. São Paulo: ANFAVEA, 2006.

_____. **Anuário da Indústria Automobilística Brasileira**. 2008 ed. São Paulo: ANFAVEA, 2008.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS EMPRESAS DE TRANSPORTE URBANO - NTU. **Utilização do gás natural no transporte público urbano**. Relatório Preliminar da NTU, out. 2004.

_____. **Anuário 2006/2007: edição comemorativa dos 20 anos de fundação da NTU**. Brasília: NTU, 2007.

_____. **Museu Virtual do Transporte Urbano**. Brasília, seção Era Moderna, p.7-8. Disponível em: <<http://www.museudantu.org.br/QEModerna.htm>>. Acesso em: 03 mai 2008a.

_____. **Museu Virtual do Transporte Urbano**. Brasília, seção Era Clássica, p.3. Disponível em: <<http://www.museudantu.org.br/QEClassica.htm>>. Acesso em: 08 jun 2008b.

_____. **Museu Virtual do Transporte Urbano**. Brasília: seção Era Contemporânea, p.2. Disponível em: <<http://www.museudantu.org.br/QEContemporanea.htm>>. Acesso em: 08 jun 2008c.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES PÚBLICOS – ANTP. **O transporte na cidade do século 21**. São Paulo: ANTP, 1999. Disponível em: <http://hist.antp.org.br/telas/transporte/capitulo1_transporte.htm>. Acesso em: 01 de nov. 2008.

ASSOCIATION FOR EMISSION CONTROL BY CATALYST – AECC. **Adsorbers**. Seção Technology. Disponível em: <<http://www.aecc.be/en/Technology/Adsorbers.html>>. Acesso em: 8 set. 2008.

AZEREDO, Luiz Cezar Loureiro de. **Investimento em infra-estrutura no Plano Plurianual (PPA) 2004-2007: uma visão geral**. Texto para discussão nº. 1024. Brasília: IPEA, jun. 2004.

AZUAGA, Denise. **Danos ambientais causados por veículos leves no Brasil**. Tese de Doutorado, 2000. 168 f. Tese (Doutorado em Ciências em Planejamento Energético) – Programa de Pós-graduação de Engenharia, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2000.

BAILEY, Diane. **Diesel retrofit e replacement strategies**. In: Roudtable on low sulfur and alternative fuels. São Paulo: NRDC, 2004. Disponível em: <http://www.theicct.org/documents/Bailey_Retrofit_presentation_2004.pdf>. Acesso em: 01 set. 2008.

BARAT, Josef. **A evolução dos transportes no Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE-LPEA, 1978.

BARBIERI, José Carlos. **O Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico**. In: Ciência e tecnologia no Brasil: uma nova política para um mundo globalizado. São Paulo: Escola de Administração de Empresas da Fundação Getúlio Vargas, 1993.

BARNES, Allyson; DUNCAN, David; MARSHALL, Jonathan; PSAILA, Alex; CHADDERTON, John; EASTLAKE, Andrew. **Evaluation of water-blend fuels in a city bus and an assessment of performance with emission control devices**. In: Better air Quality Motor Vehicle Control & Technology Workshop 2000. Hong Kong, set. 2000.

BARNITT, Robb; EUDY, Leslie. **Overview of Advanced Technology Transportation, 2005 Update**. USDOE, 2005.

BARNITT, R. **Case Study: Ebus Hybrid Electric Buses and Trolleys**. Golden, CO: NREL, 2006.

BARNITT, R; CHANDLER, K. **New York City Transit (NYCT) Hybrid (125 order) and CNG Transit Buses: Final Evaluations Results**. Golden, CO: NREL, 2006.

BARTON, Congressman Joe. **Natural Gas Vehicles: Wave of the Future**. In: *Alternative Fuels In Trucking*, v.5, nº. 3. Colorado: NREL, jan. 1997.

BERNARDES, Júlio. **Ônibus movido a etanol começa a ser testado em São Paulo**. In: *Inovação Tecnológica*. Seção Mecânica. Disponível em: <<http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=010170071024>>. Acesso em: 15 out. 2008.

BEROUN, Stanislav; MARTINS, Jorge. **The Development of Gas (CNG, LPG and H2) Engines for Buses and Trucks and their Emission and Cycle Variability Characteristics**. Society of Automotive Engineers, Inc. 2001.

BP. **BP Statistical Review of World Energy June 2008**. BP, 2008. Disponível em: <http://www.bp.com/liveassets/bp_internet/globalbp/globalbp_uk_english/reports_and_publications/statistical_energy_review_2008/STAGING/local_assets/downloads/pdf/statistical_review_of_world_energy_full_review_2008.pdf>. Acesso em: 23 jan. 2009.

BRANCO, Gabriel Murgel; BLUMBERG, Katherine; WALSH, Michael P. **Benefits versus costs: low sulfur fuels & tight vehicles standards in Brazil**. In: *Mesa redonda sobre baixo teor de enxofre e combustíveis alternativos no Brasil*. São Paulo: Environmentality, 2004. Disponível em: <www.theicct.org/documents/Branco_Benefits_2004.pdf>. Acesso em: 28 ago. 2008.

BRASIL. Decreto de 18 de julho de 1991. Institui o Programa Nacional de Racionalização dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural – CONPET e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 19 jul. 1991. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/dnn/Anterior%20a%202000/1991/Dnn213.htm>. Acesso em: 11 ago. 2008.

_____. Lei Ordinária nº. 9.503 de 23 de setembro de 1997. Institui o Código de Trânsito Brasileiro. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 24 set. 1997. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9503.htm>. Acesso em: 02 maio 2008.

_____. Decreto de 2 de julho de 2003 Institui Grupo de Trabalho Interministerial encarregado de apresentar estudos sobre a viabilidade de utilização de óleo vegetal - biodiesel como fonte alternativa de energia, propondo, caso necessário, as ações necessárias para o uso do biodiesel. **Diário Oficial da União**, Brasília, 3 jul. 2003. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/DNN/2003/Dnn9920.htm>. Acesso em: 08 ago. 2008.

_____. Decreto de 23 de dezembro de Institui a Comissão Executiva Interministerial encarregada da implantação das ações direcionadas à produção e ao uso de óleo vegetal - biodiesel como fonte alternativa de energia. **Diário Oficial da União**, Brasília, 24 dez. 2003. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/DNN/2003/Dnn10093.htm>. Acesso em: 08 ago. 2008.

_____. **Diretrizes da Política Industrial Tecnológica e de Comércio Exterior**. MDIC, 2003c. Disponível em: <<http://www2.desenvolvimento.gov.br/sitio/ascom/ascom/polindteccomexterior.php>>. Acesso em: 4 ago. 2008.

_____. **Infra-estrutura e logística.** Portal do Governo Brasileiro. Seção Balanços. Disponível em: <http://www.brasil.gov.br/pac/conheca/infra_estrutura/logistica/pac_no1>. Acesso em 19 jul. 2008a.

_____. **Infra-estrutura e logística.** Portal do Governo Brasileiro. Seção Balanços. Disponível em: <http://www.brasil.gov.br/pac/conheca/infra_estrutura/logistica/pac_no2>. Acesso em 19 jul. 2008b.

_____. **Infra-estrutura energética:** geração e transmissão de energia elétrica. Portal do Governo Brasileiro. Seção Balanços. Disponível em: <http://www.brasil.gov.br/pac/conheca/infra_estrutura/energia/pac_no8>. Acesso em 19 jul. 2008c.

_____. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Portal do Ministério do Meio Ambiente.** Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/institucional/historico/>>. Acesso em: 28 jul. 2008d.

_____. Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel. **Portal do BIODIESEL.** Seção O Programa. Disponível em: <<http://www.biodiesel.gov.br>>. Acesso em: 6 ago. 2008e.

BRAUN, Silvana; APPEL, Lucia Gorenstin; SCHMAL, Martin. **A poluição gerada por máquinas de combustão interna movidas a diesel:** a questão dos particulados: estratégias atuais para a redução e controle das emissões e tendências futuras. Revista Química Nova, vol. 27, nº. 3, 2003. p.472-482.

BRUCK, R. **Overview of emissions treatment technologies for heavy-duty engines.** In: AECC Technical Seminar on Heavy-duty Engine Emissions. Brussels: AECC, 2007. Disponível em: <www.aecc.be/content/HD%20Seminar/8__AECC_Bruck.pdf>. Acesso em: 8 set. 2008.

BICALHO, Ronaldo. **Política energética: abrangência, consistência, dilemas e desafios.** In: Boletim Infopetro Petróleo e Gás Brasil. Rio de Janeiro: UFRJ, ano 6, nº. 6, nov/dez. 2005.

BIODIESELBR. **H-BIO:** o novo diesel da Petrobras. Disponível em: <<http://www.biodieselbr.com/destaques/2006/h-bio-novo-diesel-petrobras.htm>>. Acesso em: 11 out. 2008.

BLUMBERG, Katherine O.; WALSH, Michael P.; PERA, Charlotte. **Low-sulfur gasoline e diesel:** the key to lower vehicle emissions. In: Meeting of The International Council on Clean Transportation (ICCT). California: 2003.

BOEIRA, Sérgio Luís. **Política e gestão ambiental no Brasil:** da Rio-92 ao Estatuto da Cidade. In: II Encontro da ANPPAS. São Paulo: 26 a 29 de maio de 2004.

BOESEL, John. **California Activities Relative to Heavy:** Duty Vehicle Fuel Economy. In: ICCT Workshop, San Diego, CA, feb. 22, 2006.

BOSSEL, Ulf; ELIASSON, Baldur. **Energy and the Hydrogen Economy.** Switzerland. Disponível em: <<http://www.methanol.org/pdf/HydrogenEconomyReport2003.pdf>>. Acesso em: 30 set. 2008.

BROWN, Lester R. **Eco-Economia**: construindo uma economia para a Terra. Salvador: UMA, 2003. p.103-127.

CALIFORNIA ENERGY COMMISSION; CALIFORNIA AIR RESOURCES BOARD. **State alternative fuels plan**: commission report. California: CEC/CARB, 2007.

CALIFORNIA ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – CEPA. **California Hydrogen Blueprint Plan. California**: California Hydrogen Highway Network, v.2, mai. 2005.

CASTRO, Newton. **Infra-estrutura de transporte e expansão da agropecuária brasileira**. Revista Planejamento e Políticas Públicas. nº.25, jun/dez 2002.

CASTRO, Newton; LAMY, Philippe. **A reforma e a modernização do setor de transporte ferroviário de cargas**. Texto para discussão nº. 339. Brasília: IPEA, jun. 1994.

CENTRE FOR THE ANALYSIS AND DISSEMINATION OF DEMONSTRATED ENERGY TECHNOLOGY – CADDET. **LPG engine for bus transport in the Netherlands**. Sittard: CADDET, 1997.

CERVERO, José Maria; COCA, José; LUQUE, Susana. **Production of biodiesel from vegetable oils**. Revista Grasas y Aceites, n.59. jan/mar, 2008. p.73-86.

CERVO, Amado Luiz; BERVIAN, Pedro Alcino. **Metodologia científica**. 5. ed. São Paulo: Prentice Hall, 2002.

CERUTT, Myriam Lorena Melgarejo Navarro. **Dessulfurização da gasolina por adsorção em zeólitas “y” trocadas com cobre, 2007**. [s.n]. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina, 2007.

CHALLENGE BIBENDUM. **Participating vehicles at Challenge Bibendum 2006**. Paris: CB, 2006. Disponível em: < <http://www.challengebibendum.com>>. Acesso em: 02 out. 2008.

CHANDLER, Kevin; PROC, Ken. **Norcal Prototype LNG Trucking Fleet: Final Results**. USDOE, 2004.

CHANDLER, Kevin; WALKOWICZ, Kevin; CLARK, Nigel. **United Parcel Service (UPS) CNG Truck Fleet: Final Results**. Colorado: DOE/NREL, 2002.

CHANDLER, K.; WALKOWICZ, K. **King County Metro Transit Hybrid Articulated Buses: Final Evaluation Results**. Golden, CO: NREL, 2006.

CHAPMAN, Elana M. **Emission characteristics of a navistar 7.3l turbodiesel operated with blends of dimethyl ether (DME) and diesel fuel**. Thesis (Fuel Science) - Department of Energy and Geo-Environmental Engineering, The Pennsylvania State University, 2002.

CHAPMAN, Elana M; BHIDE, SHIRISH; STEFANIK, Jennifer; GLUNT, Howard; BOEHMAN, Adré L; HOMAN, Allen; KLINIKOWSKI, David. **Dimethyl Ether (DME)-Fueled Shuttle Bus Demonstration Project**. Pennsylvania: The Pennsylvania State University, 2002.

CHU, A. C. **Cummins Natural Gas Demonstration Project**. In: Alternative Fuels in Trucking. v.1, nº. 2. Spring: American Trucking Association Foundatio´s – ATAF., 1992.

COELHO, Wladimir Tadeu Silveira. **Política econômica do petróleo no Brasil**. Dissertação de Mestrado, 2007. [s.n]. Dissertação (Mestrado em Direito das Instituições Políticas) – Programa de Pós-graduação em Direito, Universidade FUMEC, Belo Horizonte, 2007.

COELI, Carla Costa de Médici. **Análise da demanda por transporte ferroviário: o caso do transporte de grãos e farelos de soja na Ferronorte**. Dissertação (Mestrado em Administração), Instituto COPPEAD de Administração, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2004.

COMISSÃO DE POLÍTICAS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E DA AGENDA 21 NACIONAL – CPDSA 21. **Agenda 21 brasileira: resultado da consulta nacional**. 2. ed. Brasília : Ministério do Meio Ambiente, 2004.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB. **Relatório de qualidade do ar no estado de São Paulo 2007**. São Paulo: CETESB, 2008.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE – CNT. **Pesquisa ferroviária CNT 2006**. Brasília: CNT, 2007.

_____. **Museu Virtual do Transporte**. Brasília, seção Ferroviário. 2008. Disponível em <<http://www.cnt.org.br/informacoes/museu/geral/index.asp>>. Acesso em: 11 jun. 2008a.

_____. **Museu Virtual do Transporte**. Brasília, seção Rodoviário. 2008. Disponível em <<http://www.cnt.org.br/informacoes/museu/geral/index.asp>>. Acesso em: 12 jun. 2008b.

_____. **Boletim estatístico – CNT**. Ano 2008. Disponível em: <http://www.cnt.org.br/informacoes/pesquisas_bol_estatistico.asp>. Acesso em: 24 jun. 2008c.

_____. **Boletim estatístico – CNT**. Ano 2007. Disponível em: <http://www.cnt.org.br/informacoes/pesquisas_bol_estatistico.asp>. Acesso em: 11 jul. 2008d.

CONPET. Programa Economizar. **Programa Nacional de Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural – CONPET**. MME, 2008. Disponível em: <http://www.conpet.gov.br/projetos/economizar_03.php?segmento=corporativo>. Acesso em: 11 ago. 2008a.

_____. Programa Economizar. **Programa Nacional de Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural – CONPET**. MME, 2008. Disponível em: <http://www.conpet.gov.br/projetos/transp_03.php?segmento=corporativo>. Acesso em: 11 ago. 2008b.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução nº. 03 de 28 de julho de 1990**. Dispõe sobre a ampliação do número de poluentes atmosféricos passíveis de monitoramento e controle no País. Brasília, D.O.U, 22/08/90. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res90/res0390.html>>. Acesso em: 28 jul. 2008.

_____. **Resolução nº. 8 de 31 de agosto de 1993**. Complementa a Resolução no 18/86, que institui, em caráter nacional, o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores - PROCONVE, estabelecendo limites máximos de emissão de poluentes para os motores destinados a veículos pesados novos, nacionais e importados. Brasília, D.O.U, 31/12/93. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=133>>. Acesso em: 08 ago. 2008.

_____. **Resolução nº. 16 de 13 de dezembro de 1995.** Dispõe sobre os limites máximos de emissão de poluentes para os motores destinados a veículos pesados novos, nacionais e importados, e determina a homologação e certificação de veículos novos do ciclo Diesel quanto ao índice de fumaça em aceleração livre. Brasília, D.O.U, 29/12/95. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=194>>. Acesso em: 08 ago. 2008.

_____. **Resolução nº. 18 de 06 de maio de 1996.** Dispõe sobre a instituição do Proconve. Brasília, D.O.U, 17/06/86. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res1886.html>>. Acesso em: 28 jul. 2008.

_____. **Resolução nº. 315 de 29 de outubro de 2002.** Dispõe sobre a nova etapa do Programa de Controle de Emissões Veiculares - PROCONVE. Brasília, D.O.U, 20/11/02. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res31502.html>>. Acesso em: 28 jul. 2008.

CONSELHO NACIONAL DE POLÍTICA ENERGÉTICA – CNPE. **Resolução nº. 2, de 13 de março de 2008.** Estabelece em três por cento, em volume, o percentual mínimo obrigatório de adição de biodiesel ao óleo diesel comercializado ao consumidor final, nos termos do art. 2º da Lei nº11.097, de 13 de janeiro de 2005. Brasília: MME, 2008.

CORREIA, Eduardo Luiz. **A retomada do uso de álcool combustível no Brasil.** Universidade Federal de Juiz de Fora, 2007.

CORRÊA, Sérgio Machado. **Efeito do biodiesel na qualidade do ar nas grandes cidades.** In: II Congresso Brasileiro de Plantas Oleaginosas, Óleos, Gorduras e Biodiesel. Varginha: Universidade Federal de Lavras, 2005. p.929-934.

COSTA, Bill Jorge. **Biodiesel: uma visão geral.** In: Workshop Identificação de Gargalos Tecnológicos na Agroindústria Paranaense. Curitiba: IPARDES, 2005.

COSTA, David Freire. **Geração de energia elétrica a partir do biogás do tratamento de esgoto.** Dissertação de Mestrado, 2006 [194p] (Mestrado em Energia). Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia. Universidade de São Paulo, 2006.

COSTA, Ivan. **Ônibus híbrido: solução limpa para o transporte urbano.** In: Revista Híbrida, nº. 1, out/dez. 2008. Disponível em: <http://www.revistahibrida.com.br/revista0_entrevista.html>. Acesso em: 05 nov. 2008.

CRUZ, Rosenira Serpa; PIRES, Mônica de Moura; ALMEIDA NETO, José Adolfo; ALVES, Jaênes Miranda; ROBRA, Sabine; SOUZA, Geovânia Silva; ALMEIDA, César Menezes; SOARES, Sérgio Macedo; XAVIER, Geórgia Silva. **Biodiesel: uma nova realidade energética no Brasil.** Revista Bahia Análise e Dados, Salvador, v.16, n.1, p.97-106, jun. 2006.

DAGNINO, Renato Peixoto; **As Perspectivas da Política de C&T.** Revista Ciência e Cultura, v. 59, pp.39-45, São Paulo, 2007.

D'AGOSTO, Márcio de Almeida; RIBEIRO, Suzana Kahn; PEREIRA, Paulo Henriques de Savignon. **Ônibus de propulsão híbrida e o potencial de economia de óleo diesel no transporte urbano de passageiros no Brasil.** Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2004.

DAISHO, Yasuhiro. **Regulatory and R&D trends associated with motor vehicle emissions and fuel economy in Japan.** In: International Conference on Fiscal Policies for

Promoting Cleaner and More Efficient Vehicle Technologies. Japan: Waseda University, 2005.

DAVIS, Stacy C; DIEGEL, Susan W. **Transportation Energy Data Book**: edition 27. Office of Energy Efficiency and Renewable Energy. U.S. Department of Energy, 2008.

DAIMLER CRYSLER. **História: Daimler Crysler no mundo**. 2008. Disponível em: <<http://www.daimlerchrysler.com.br/historia/historia/cenhistoria.htm>>. Acesso em: 12 jun. 2008.

_____. **Daimler Buses North America: Orion VII Diesel-Eletric Hybrid Presentantion**. Disponível em: <http://www.dcbusna.com/Projects/c2c/channel/files/270349_Orion_Hybrid_Transit_Presentation_Q2_2008.pdf>. Acesso em: 21 out. 2008.

DECICCO, John M. **The "Chicken and Egg" Problem Writ Large**: what comes first: the solution to a problem or a commitment to solve it? In: Asilomar Conference on Transportation and Energy Pacific Grove. California: jul. 2003.

DEFRIES, Ruth S; MALONE, Thomas F., (ed.). **Global Change and our Common Future**. Washington: National Academy Press, 1989.

DEPARTMENT OF INDUSTRY, SCIENCE AND RESOURCES OF AUSTRALIA – DISRA. **Setting National fuel quality standards**: discussion paper on operability fuel parameters – petrol and diesel. Australia: DISRA, 2001.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE COMBUSTÍVEIS - DNC. **Portaria nº. 23 de 6 de junho de 1994**. Proibi o consumo de óleo diesel em veículos automotores de passageiros, de carga e de uso misto com capacidade inferior a 1.000 kg. Brasília, 1994. Disponível em <<http://www.camara.gov.br/sileg/integras/409721.doc>>. Acesso em: 12 jun. 2008.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL – DNPM. **Anuário Mineral Brasileiro 2006**. Brasília: DNPM, 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO – DENATRAN. **Frota de Veículos Por Tipo Segundo as Unidades da Federação**. Brasília: MINISTÉRIO DAS CIDADES/RENAST, 2008. Disponível em: <<http://www2.cidades.gov.br/renaest/detalheNoticia.do?noticia.codigo=113>>. Acesso em: 08 out. 2008.

DICEA, Opera; ENACHESCU, Michael E. **The hydrocarbon past, present, and future of România: the world's first oil producer**. Society of Exloration Geophysicists, 2000.

DIESENDORF, Mark; LAMB, David; MATHEWS, John; PEARMAN, Graeme. **A Roadmap for Alternative Fuels in Australia**: Ending our Dependence on Oil. Sydney: NRMA Motoring & Services, 2008.

DINIZ, Clélio Campolina. **Capitalismo, recursos naturais e espaço**: análise do papel dos recursos naturais e dos transportes para a dinâmica geográfica da produção agropecuária e mineral no Brasil e seus efeitos no padrão regional brasileiro. Tese de Doutorado. 1987. [s.n]. Tese (Instituto de Economia), Universidade Estadual de Campinas, 1987.

DLUSKA, Ewa; HUBACZ, Robert; WRONSKI, Stanislaw. **Simple and Multiple Water Fuel Emulsions Preparation in Helical Flow**. In: Turkish Journal of Engineering Environmental Sciences, nº.30, 2006. p. 175 – 182.

DORNELLES, Ricardo. **Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel**. Rio de Janeiro: MME, 2006.

DUARTE, Humberto Conrado. **Hidrólise do bagaço da cana com ácido clorídrico concentrado**. Tese de Doutorado. 1989 [s.n]. Tese (Mestrado em Química). Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas, 1989.

ECONOMIZAR; CONPET. **A saúde da população e a poluição atmosférica**. Brasília: ECONOMIZAR/CONPET, 2006.

EISENBACH, Yára. **A experiência de Curitiba em combustível alternativo: Biodiesel e MAD8**. In: 1º Seminário de Biodiesel do Estado do Paraná. Universidade Estadual de Londrina, 12 e 13 agosto de 2003.

EMPRESA MUNICIPAL DE TRANSPORTE URBANO – EMTU. **Estratégia Energético-Ambiental: Ônibus com Célula a Combustível Hidrogênio para o Transporte Público no Brasil**. São Paulo: EMTU, 2008. Disponível em: <<http://www.emtu.sp.gov.br/empreendimentos/apreshidro.pdf>>. Acesso em: 28 out. 2008.

ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION – EIA. **World Proved Reserves of Oil and Natural Gas, Most Recent Estimates**. Seção International. Disponível em <<http://www.eia.doe.gov/emeu/international/reserves.html>>. Acesso em 01 jul. 2008.

ENERGY TECHNOLOGY TRAINING CENTER – ETTTC. **Hydrogen Fuel Cell Engines and Related Technologies**. Palm Desert, CA, USA: College of the Desert, 2001.

ENVIRONMENTAL AND ENERGY STUDY INSTITUTE – EESI. **Hybrid Buses: Cost and Benefits**. Washington: EESI, 2007. Disponível em: <http://www.eesi.org/publications/Fact%20Sheets/Clean%20Bus%20and%20Health%20Fact%20Sheets/Hybridbusfactsheet_final.PDF>. Acesso em: 05 out. 2008.

ESCOBAR, Herton. **Brasil vai produzir diesel de cana-de-açúcar a partir de 2010** São Paulo: Estadão, 15 out. 2008. Disponível em: <http://www.estadao.com.br/estadaodehoje/20081015/not_imp259943,0.php>. Acesso em: 16 out. 2008.

EUDY, L; CHANDLER, K; GIKAKIS, C. **Fuel Cell Buses in U.S. Transit Fleets: Summary of Experiences and Current Status**. Colorado: NREL, 2007.

EUDY, Leslie; GIFFORD, Matthew. **Challenges and Experiences with Electric Propulsion Transit Buses in the United States**. Washington: USDOE, 2003.

EUROPEAN BIODIESEL BOARD – EBB. **The EU biodiesel industry**. Seção Statistics. Belgium: EBB, 2008. Disponível em: <<http://www.ebb-eu.org/stats.php>>. Acesso em: 14 set. 2008.

EUROPEAN AUTOMOBILE MANUFACTURES ASSOCIATION – ECEA. **New passenger car registrations. Breakdown by specifications: share of diesel**. Disponível em: <http://www.acea.be/images/uploads/pr/20080220_ER%202008%20Demand%20characteristics.pdf>. Acesso em: 21 jun. 2007.

FACHIN, Odília. **Fundamentos de metodologia**. 4. ed. São Paulo: Saraiva, 2003.

FANNING, Leonard M. **Our oil resources**. New York: McGraw-Hill Book Company, Inc., 1945.

FEROLLA, Sergio Xavier; METRI, Paulo. **Nem todo o petróleo é nosso**. São Paulo: Paz e Terra, 2006.

FIGUEIRA, Sérgio Rangel; BURNQUIST, Heloisa Lee. **Programas para álcool combustível nos estados unidos e possibilidades de exportação do Brasil**. Revista Agricultura em São Paulo, v.53, nº. 2, p.5-18, jul/dez. 2006.

FORD. **Ford centenário**. Seção Institucional: História da Ford. Disponível em <<https://www.ford.com.br/Default.asp#inicio>>. Acesso em: 15 jun. 2008.

FORMENTI, Lígia. **Mantido o prazo de corte do enxofre**. São Paulo: Estadão, 11 out. 2008. Disponível em: <http://www.estadao.com.br/estadaodehoje/20080911/not_imp239755,0.php>. Acesso em: 16 out. 2008.

FREIRE, Rita. Controle da Poluição Atmosférica. **Revista ADUSP**. São Paulo, v.20, setembro de 2000.

GALVÃO, Olímpio J. de Arroxelas. **Desenvolvimento dos transportes e integração regional no Brasil: uma perspectiva histórica**. Revista Planejamento e Políticas Públicas, nº. 13, jun. 1996. p.183-211.

GASLOCAL. Gás Natural **Liquefeito**: mais energia para o seu negócio. Rio de Janeiro: GAS LOCAL, 2008. Disponível em: <[http://www.praxair.com/sa/br/bra.nsf/0/95960CCE7E4CC0688525725800429E75/\\$file/GasLocal_Perfil2006.pdf](http://www.praxair.com/sa/br/bra.nsf/0/95960CCE7E4CC0688525725800429E75/$file/GasLocal_Perfil2006.pdf)>. Acesso em: 23 set. 2008.

GASNET. **Composição do gás natural bruto**. Seção O Gás. Disponível em: <http://www.gasnet.com.br/gasnet_br/oque_gn/gas_completo.asp#gas1>. Acesso em: 18 set. 2008.

GEIPOT. **Anuário Estatístico dos Transportes**. Ano 1972 a 2001. Brasília: GEIPOT, 1972 – 2001.

GLADSTEIN, NEANDROSS & ASSOCIATES. **Strategy for the Integration of Hydrogen as a Vehicle Fuel into the Existing Natural Gas Vehicle Fueling Infrastructure of the Interstate Clean Transportation Corridor Project**. California: NREL, 2004.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GIST, Ronald L; OTTO, Ken W; WHITLEY, S. Craig; HART, Walter M. **Global markets facing adjustment to surge in LPG supply**. In: Oil & Gas Journal, vol. 105, nº. 23, jun. 2007.

GREEN CAR CONGRESS. **Scania Touts Ethanol for Heavy-Duty Urban Transport**. 2006a. Disponível em: <http://www.greencarcongress.com/2006/03/scania_touts_et.html>. Acesso em: 15 set. 2008.

_____. **XcelPlus Acquires Rights to E95 Ethanol Blend for Use in Diesels**. Disponível em: <http://www.greencarcongress.com/2006/06/xcelplus_acquir.html>. Acesso em: 15 set. 2008.

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO – GESP. Estado anuncia US\$ 3 bilhões para investir no metrô e CPTM. **Portal do Governo do Estado de São Paulo**. São Paulo: jun. 2008. Disponível em: <<http://www.saopaulo.sp.gov.br/sis/lenoticia.php?id=96328&c=141>>. Acesso em: 23 jul. 2008.

GORDINHO, Margarida Cintra (org.). **Transportes no Brasil: a opção rodoviária**. São Paulo: Editora Marca D'Água, 2003.

GOVERNO DO RIO DE JANEIRO. **Secretaria de Transportes inicia estudos para o uso do biodiesel B20**. Rio de Janeiro: ASCOM/STRJ, 2008. Disponível em: <http://www.imprensa.rj.gov.br/SCSsiteImprensa/detalhe_noticia.asp?ident=47335>. Acesso em: 15 out. 2008.

GRUPO DE TRABALHO INTERMINISTERIAL – GTI. **Relatório final do Grupo de Trabalho Interministerial encarregado de apresentar estudos sobre a viabilidade de utilização do óleo vegetal – biodiesel, como fonte alternativa de energia**. Brasília: GTI, 2003.

HASELI, Y; NATERER, G.F; DINCER, I. **Comparative assessment of greenhouse gas mitigation of hydrogen passenger trains**. International Journal of Hydrogen Energy, n.33, 2008. p.1788-1796.

HINRICHS, Roger A; KLEINBACH, Merlin. **Energia e meio ambiente**. São Paulo: Editora Thomson, 2003.

HOLANDA, Ariosto. **Biodiesel e inclusão social**. Brasília: Câmara dos Deputados, Coordenações de Publicações (Série caderno de altos estudos nº. 1), 2004.

ILLINOIS INSTITUTE OF TECHNOLOGY - IIT. **Hybrid and Plug-in Hybrid Electric Vehicle Research at Illinois Institute of Technology**. Illinois: IIT, 2008.

INSTITUTE FOR TRANSPORTATION & DEVELOPMENT POLICY – ITDP. **Os trólebus na cidade de São Paulo: uma análise preliminar**. São Paulo: ITDP, 2008.

INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR NATURAL GAS VEHICLES – IANGV. **Natural Gas Vehicles Statistics**. Seção Statistics. 2008. Disponível em <<http://www.iangv.org/tools-resources/statistics.html>>. Acesso em: 19 jun. 2008.

INTERNATIONAL COUNCIL ON CLEAN TRANSPORTATION – ICCT. **Clean gasoline and diesel: the foundation for modern vehicles and clean air**. Seção Reports and Publications. Disponível em: <http://www.theicct.org/documents/Sulfur_policymaker_brief_ICCT_2004.pdf>. Acesso em: 27 ago. 2008.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY - IEA. **Energy Statistics Manual**. Paris: OECD/IEA, 2005.

_____. **Key world statistics 2007**. Paris: OECD/IEA, 2007

INTERNATIONAL FUEL QUALITY CENTER – IFQC. 2007 **Global Ethanol & Biodiesel Fuel Blending Limits**. IFQC, 2007. Disponível em: <[http://www.ifqc.org/UserFiles/2007BiofuelsMap\(1\).pdf](http://www.ifqc.org/UserFiles/2007BiofuelsMap(1).pdf)>. Acesso em: 14 set. 2008.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. **Contribuição do Grupo de Trabalho III ao Quarto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças do Clima. Sumário para os Formuladores de Políticas.** Brasília: MCT, 2007.

INSTITUTO ALBERTO LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA - COPPE. **Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa. Relatórios de referência. Emissões de Gases de Efeito Estufa por Queima de combustíveis: abordagem *Bottom-Up*.** Brasília: MCT, 2002.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Pesquisa industrial – Produto.** Rio de Janeiro: IBGE, nº. 2, v.25, 2006. p.188.

_____. PÊGO FILHO, Bolívar; CÂNDIDO JÚNIOR, José Oswaldo; PEREIRA, Francisco. **Investimento e financiamento da infra-estrutura no Brasil: 1990/2002.** Texto para discussão nº. 680. Brasília: IPEA, out. 1999.

KASSEL, Richard; BAILEY, Diane. **Eliminação da poluição dos atuais óleos diesel: conversão e substituição dos veículos pesados na próxima década.** In: Mesa redonda sobre baixo teor de enxofre e combustíveis alternativos no Brasil. São Paulo: NRDC, 2004. Disponível em: <www.theicct.org/documents/Bailey_Retrofit_doc_2004_Port.pdf>. Acesso em: 27 ago. 2008.

KHALIL, Carlos Nagib. As tecnologias de produção de biodiesel. In: FERREIRA, José Rincon; CRISTO, Carlos Manual Pedroso Neves. **O futuro da indústria: biodiesel: coletânea de artigos.** Brasília: MDIC-STI/IEL, 2006.

LABORATÓRIO INTERDISCIPLINAR DE MEIO AMBIENTE – LIMA. **Avaliação do Programa de Inspeção e Manutenção de Veículos em Uso no Rio de Janeiro.** Brasília: MMA, 2001.

_____. **Avaliação do Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores.** Brasília: MMA, 2006.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. **Fundamentos de metodologia científica.** 4. ed. São Paulo: Atlas, 2001.

LATINI, Sydney A. **A implantação da indústria automobilística no Brasil: da substituição de importações ativa à globalização passiva.** São Paulo: Editora Alaúde, 2007.

LAURINDO, José Carlos. **Combustíveis alternativos no TECPAR e UFPR.** In: 1º Seminário de Biodiesel do Estado do Paraná. Universidade Estadual de Londrina, 12 e 13 agosto de 2003.

LEITE, Rogério Cezar de Cerqueira; LEAL, Manoel Régis L. V. **O biocombustível no Brasil.** Revista Novos Estudos. n..78, jul. 2007. p.15-21.

LIMA, Paulo Cesar Ribeiro. **Biodiesel: um novo combustível para o Brasil.** Brasília: Consultoria Legislativa, 2005.

LOPES, José Leite. **Ciência e liberdade: escritos sobre ciência e educação no Brasil.** Rio de Janeiro: MCT-CBPF/UFRJ, 1998.

LOURENÇO, Sérgio Ricardo. **Gás natural: perspectivas e utilização.** Dissertação de Mestrado, 2003. [s.n]. Dissertação (Mestrado em Planejamento de Sistemas Energéticos) – Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2003.

LPG AUTOGAS. **Australian-developed 100 per cent LPG heavy truck is a world first.** Seção LPG Autogas News. Disponível em: <<http://www.lpgautogas.com.au/index.cfm?action=News&unq=130&Type=R>>. Acesso em: 21 set. 2008.

MACHADO, Paulo Romeu Moreira. **Avaliação de desempenho de óleo de soja como combustível para o motor diesel.** Dissertação de Mestrado, 2003. 211 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, Universidade de Santa Maria, 2003.

MACHADO, Gustavo Eduardo Rocha; LOPES, Juliano da Silva; OLIVEIRA, Lerciano; SILVA, Ricardo Moreira. **A perspectiva do biodiesel a partir do cultivo da mamona no Brasil.** Artigo apresentado no XXVI ENEGEP - Fortaleza, CE, Brasil, 9 a 11 de Outubro de 2006.

MACHADO, Guilherme Bastos; MELO, Tadeu Cavalcante Cordeiro de; LASTRES, Luiz Fernando Martins. **Ônibus urbano a GNV: cenário brasileiro.** In: Boletim Técnico da Petrobras, Rio de Janeiro, v.49, n.1/3, dez. 2006.

MADSON, P.W.; MONCEAUX, D.A. **Fuel ethanol production.** USA: Katzen International, Inc, 2003.

MAGE, David; OZOLINS, Guntis; PETERSON, Peter; WEBSTER, Anthony; ORTHOFER, Rudi; VANDEWEERD, Weerle; GWYNNE, Michael. **Urban air pollution in megacities of the world.** In: Atmospheric Environment, vol. 30, nº. 5, 1996. Elsevier Science. p.681-686.

MAGNETI MARELLI. **Environmental Commitment.** Seção Alternative Fuel. Disponível em<http://www.magnetimarelli.com/english/powertrain_combustibili_alternativi.php>. Acesso em: 04 jun 2008.

MAN NUTZFAHRZEUGE. **150 Years Rudolf Diesel.** 2008. Disponível em: <http://www.man-mn.com/150diesel/index_en.html>. Acesso em: 04 jun 2008.

MARCÍLIO, Izabel; GOUVEIA, Nelson. **Quantifying the impact of air pollution on the urban population of Brazil.** In: Caderno de Saúde Pública. Rio de Janeiro: n.23, 2007. p.529-536.

MARIANO, Jaqueline Barboza. **Impactos ambientais do refino do petróleo.** Dissertação de Mestrado, 2001. 216 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2001.

MARJOTTA-MAISTRO, Marta Cristina. **Ajustes nos mercados de álcool e gasolina no processo de desregulamentação.** Tese de Doutorado. 2002. 180f. Tese (Doutorado em Ciências – Economia Aplicada). Programa de Pós-graduação Escola Superior de Agricultura Luiz de Quiroz, Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2002.

MARQUES, Fabrício. **Vias para avançar como líder do etanol.** In: São Paulo: FAPESP, Revista Pesquisa FAPESP, nº. 149, jul. 2008.

MARQUES, Gian Gomes; JOSEPH JÚNIOR, Henry. Biodiesel: visão da indústria automobilística. In: FERREIRA, José Rincon; CRISTO, Carlos Manual Pedroso Neves. **O futuro da indústria: biodiesel**: coletânea de artigos. Brasília: MDIC-STI/IEL, 2006.

MASCARIM, Tarcísio Angelo. **Biodiesel, uma realidade**. In: Simpósio Internacional e Mostra de Tecnologia da Agroindústria Sucoalcooleira. Piracicaba, 2004. Disponível em: <<http://www.simtec.com.br/artigostecnicos/art2.htm>>. Acesso em: 10 nov. 2008.

MATSCHOSS, Conrad. **Great Engineers**. New York: Books for Libraries Press, 1970.

MATTHEY, JOHNSON. **Emission control technologies**. Seção Applications – Truck and Bus. Disponível em: <<http://ect.jmcatalysts.com/applications-trucksandbuses.htm>>. Acesso em: 8 set. 2008.

MATTOS, Laura Bedeschi de Rego. **Gás Natural Veicular**. In: RIBEIRO, Suzana Kahn (coord.). Transporte sustentável: alternativas para ônibus urbanos. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2001.

MCCORMICK, Robert. **Renewable diesel fuels**: status of technology and R&D needs. In: 8th Diesel Engine Emissions Reduction Conference. Califórnia: U.S. Department of Energy, 25-29 aug. 2002.

MCCORMICK, Robert L.; PARISH, Richard. **Technical Barriers to the Use of Ethanol in Diesel Fuel**. Colorado: NREL, 2001.

MECA. **Diesel Retrofit Technology for Clean Air**. Seção What is retrofit? Disponível em: <http://www.meca.org/cs/root/diesel_retrofit_subsite/what_is_retrofit/what_is_retrofit>. Acesso em: 08 set. 2008.

MELENDEZ, M; MILBRANDT, A. **Geographically Based Hydrogen Consumer Demand and Infrastructure Analysis**: Final Report. Colorado: NREL, 2006.

MELENDEZ, M. **Transitioning to a Hydrogen Future**: Learning from the Alternative Fuels Experience. Colorado: NREL, 2006.

MELLO, Fabiana Ortiz Tanoue; PAULILLO, Luiz Fernando; VIAN, Carlos Eduardo de Freitas. **O biodiesel no Brasil**: panorama, perspectivas e desafios. Revista Informações Econômicas. São Paulo, v.37, n.1, jan. 2007.

MENDES, Francisco Eduardo. **Avaliação de programas de controle de poluição atmosférica por veículos leves no Brasil**. Tese de Doutorado, 2004. 179 f. Tese (Doutorado em Ciências em Planejamento Energético) – Programa de Pós-graduação de Engenharia, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2004.

MILANEZ, Artur Yabe. **Os fundos setoriais são instituições adequadas para o desenvolvimento industrial no Brasil?** Revista do BNDES, Rio de Janeiro, v. 14, n. 27, p. 123-140, jun. 2007.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA - MCT. **Portaria MCT nº. 702** de 30 de outubro de 2002. Brasília: MCT, 2002a.

_____. **Livro Branco**. Brasília: MCT, 2002b.

_____. **Ciência, tecnologia e inovação**: Plano de Ação 2007-2010. Brasília: MCT, 2006.

_____. **Comparações produto interno bruto (PIB) e investimentos em C&T, 2000-2005.** Brasília: MCT, 2008. Disponível em: <<http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/9138.html>>. Acesso em: 02 ago. 2008.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - MME. **Balanco Energético Nacional:** Ano base 2006 (BEN 2007). Brasília: MME, 2007a. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/site/menu/select_main_menu_item.do?channelId=1432&pageId=14131> Acesso em: 12 mar. 2008.

_____. **Resenha Energética Brasileira:** exercício 2007 (versão preliminar). Brasília: MME, 2007b. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/site/menu/select_main_menu_item.do?channelId=1432&pageId=15304>. Acesso em: 23 jun. 2008.

_____. **Balanco Energético Nacional:** Ano base 2007 (BEN 2008). Brasília: MME, 2008. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/site/menu/select_main_menu_item.do?channelId=1432&pageId=17036> Acesso em: 12 jan. 2009.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Agenda 21 Brasileira.** Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/index.php?ido=conteudo.monta&idEstrutura=18&idConteudo=908>> Acesso em: fev. 2008.

MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO ORÇAMENTO E GESTÃO – MPOG. **Plano Plurianual 2004-2007:** relatório anual de avaliação. Ano base 2005 – exercício 2006. Caderno 15. Brasília: MP, 2006.

MOON, Suzan. **Ruling on Liquefied Natural Gas (LNG) Tax Rate Sparks Debate.** In: *Alternative Fuels in Trucking*, v.4, n.º. 3. Colorado: NREL, 1996.

MORAIS, Alexandre Barreira de. **Perspectiva de inserção do GLP na matriz energética brasileira.** Dissertação de Mestrado, 2005 [122p] (Mestrado em Ciências em Planejamento Energético). Programa de Pós-graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2005.

MOTTA, Robert; NORTON, Paul; KELLY, Kenneth; CHANDLER, Kevin, SCHUMACHER, Leon; CLARK, Nigel. **Alternative Fuel Transit Buses:** Final Results from the National Renewable Energy Laboratory. Washington: NREL, 1996.

MOTHÉ, Cheila G.; CORREIA, Denise Z.; CASTRO, Bruno C. S.; CAITANO, Moisés; ARANDA, Donato A. G. **Biodiesel obtido a partir de rejeito de gordura animal.** In: *II Congresso Brasileiro de Plantas Oleaginosas, Óleos, Gorduras e Biodiesel*. Varginha: Universidade Federal de Lavras, 2005.

MSANGI, Siwa; SULSER, Timothy; ROSEGRANT, Mark; SANTOS, Rowena Valmonte. **Global scenarios for biofuels:** impacts and implications for food security and water use. Apresentado na Tenth Annual Conference on Global Economic Analysis special session on “CGE Modeling of Climate, Land Use, and Water: Challenges and Applications”. Purdue University, West Lafayette, Indiana 7-9 jun. 2007.

NATALE NETTO, João. **A saga do álcool:** fatos e verdades sobre os 100 anos de história do álcool combustível em nosso país. Osasco: Novo Século Editora, 2007.

NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY – NREL. **Natural Gas Buses: Separating Myth from Fact.** Battelle: NREL, 2000.

_____. **Assisting Transit Agencies with Natural Gas Bus Technologies.** Battelle: NREL, 2005.

_____. **Beyond diesel: Renewable diesel.** NREL. Disponível em: <<http://www.nrel.gov/docs/fy02osti/32524.pdf>>. Acesso em: 12 set. 2008.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL; NATIONAL ACADEMY OF ENGINEERING. **The hydrogen economy: opportunities, cost, barriers, and R&D needs.** Washington: National Academies Press, 2004.

NEEFT, John P.A; MAKKEE, Michiel; MOULIJN, Jacob A. **Diesel particulate emission control.** Fuel Processing Technology, vol. 47, abr. 1996, p.1-69. Published Elsevier.

NEVES, Clarissa Eckert Baeta. **Ciência e tecnologia no Brasil.** In: SOARES, Maria Susana Arrosa (org.). A educação superior no Brasil. Brasília: CAPES, 2002. p.223-272.

NEW YORK STATE ENERGY AND DEVELOPMENT AUTHORITY – NYSERDA. **Alternative Fuels for Vehicles Fleet Demonstration Program: Technical Reports.** vol. 3. New York: NYSERDA, 1997. p.3.1 – 3.67.

NOGUEIRA, Luiz Augusto Horta; PIKMAN, Braulio. **Biodiesel: novas perspectivas de sustentabilidade.** In: Conjuntura & Informação, nº. 19. Brasília: ANP, ago/out 2002.

NYBERG, Fredrik; GUSTAVSSON, Per; JARUP, Lars; BELLANDER, Tom; BERGLIND, Niklas; JAKOBSSON, Robert; PERSHAGEN, Goran. **Urban Air Pollution and Lung Cancer in Stockholm.** In: Epidemiology, vol.11, set. 2000. p.487-495.

NORTHEAST ADVANCED VEHICLE CONSORTIUM - NAVC. **Hybrid-Electric Drive Heavy-Duty Vehicle Testing Project: Final Emissions Report.** Boston: NAVC/DARPA, 2000.

NORTON, Paul; KELLY, Kenneth J; MAREK, Norman J. **Running Line_Haul Trucks on Ethanol.** Colorado: Center for Transportation Technologies and Systems, 1996.

OLIVEIRA, Luciano Basto. Biodiesel: combustível limpo para o desenvolvimento sustentável. In: RIBEIRO, Suzana Kahn (org.). **Transporte sustentável: alternativas para ônibus urbano.** Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2001.

OLIVEIRA, Luciano Basto. **Potencial de aproveitamento energético de lixo e de biodiesel de insumos residuais no Brasil.** Tese de Doutorado, 2004. 237 f. Tese (Doutorado em Planejamento Energético) – Programa de Pós-graduação em Engenharia, COPPE/Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2004.

OLIVEIRA, Telma de; BOMTEMPO, José Vitor; ALMEIDA Edmar Luiz Fagundes de. **Um Estudo de Prospecção e de Estratégias de Inovação: o Caso Dimetil Éter (DME) – Um Novo Combustível Derivado do Gás Natural.** In: XI Congresso Brasileiro de Energia. Rio de Janeiro, 16 a 18 ago. 2006.

OLIVÉRIO, José Luiz. **O processo DHR – Dedini Hidrólise Rápida: produção de álcool a partir do bagaço.** In: Seminário Produção do álcool de celulose do bagaço e outras matérias-primas. São Paulo, 2007. Disponível em: <

http://www.fiesp.com.br/agencianoticias/2007/05/15/jluz_oliverio-dhr.pdf. Acessado em: 01 jun 2008.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT – OECD. **Agricultural market impacts of future growth in the production of biofuels - Working party on Agricultural Policies and Markets**. 2006.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT - OECD; INTERNATIONAL ENERGY AGENCY - IEA. **CO2 emissions from fuel combustion: 2007 Edition**. France: OECD/IEA, 2007.

ORGANIZATION OF THE PETROLEUM EXPORTING COUNTRIES – OPEC. **Reference Prices - OPEC Basket Price**. Disponível em: <<http://www.opec.org/home/basket.aspx>>. Acesso em: 02 de maio de 2008.

ORTIZ NETO, José Benedito; COSTA, Armando João Dalla. **A Petrobrás e a exploração de petróleo Offshore no Brasil: um approach evolucionário**. Rio de Janeiro: Revista RBE, v.61, n.1, jan/mar. 2007. p. 95-109.

PAIVA, Eduardo Nazareth. **A FNM e a indústria automotiva no Brasil: uma análise antiética do ponto de vista da Teoria Ator-Rede**. Tese de Doutorado. 2004. [458f] (Engenharia de Sistemas e Computação) COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2004.

PAMPLONA, Nicola. **Petrobrás pára de produzir H-BIO**. São Paulo: Estadão, 30 ago. 2007. Disponível em: <http://www.estadao.com.br/economia/not_eco43885,0.htm>. Acesso em: 11 out. 2008.

PARENTE, E. J. de S. **Biodiesel: uma aventura tecnológica num país engraçado**. Fortaleza: Unigráfica, 2003.

PASSETO, Eduardo. **Avaliação de sustentabilidade da gestão de recursos petrolíferos e subsídios para uma proposição de “eco-desenvolvimento”**. Dissertação de Mestrado, 2002 [s.n] (Mestrado em Planejamento de Sistemas Energéticos). Programa de pós-graduação, em Engenharia Mecânica, Campinas, 2002.

PEROZZI, Mariana. **O dobro de álcool na mesma área plantada**. PITE-FAPESP. Revista Inovação Uniemp. v.3, n.2, Campinas, mar/abril. 2007. p.46-47

PETROBRAS. **História do petróleo no Brasil**. Seção Espaço Conhecer. Disponível em: <<http://www2.petrobras.com.br/EspacoConhecer/HistoriaPetroleo/primeirosposcos.asp>>. Acesso em: 25 jun. 2008a.

_____. **Águas profundas**. Seção Plataformas. Disponível em <http://www2.petrobras.com.br/portal/frame.asp?pagina=/Petrobras/portugues/plataforma/pla_aguas_profundas.htm&lang=pt&area=apetrobras>. Acesso em: 25 jun. 2008b.

_____. **Derivados do petróleo**. Seção Espaço Conhecer. Disponível em <<http://www2.petrobras.com.br/EspacoConhecer/Produtos/DerivadosdoPetroleo.asp>>. Acesso em: 25 jun. 2008c.

_____. **Composição da gasolina**. Disponível em: <http://www.br.com.br/portalbr/calandra.nsf#http://www.br.com.br/portalbr/calandra.nsf/CVview_postospetro/03?OpenDocument>. Acesso em: 01 jul. 2008d.

_____. Óleo Diesel. **Portal BR**. Seção Grandes consumidores. Disponível em: <<http://www.moto4.com.br/portalbr/calandra.nsf#http://www.moto4.com.br/portalbr/calandra.nsf/0/FC04353360FFF67603256DAD004D0E47?OpenDocument&SGrandes+Consumidores>>. Acesso em: 7 jul. 2008e.

_____. **Diesel Podium**. Seção Onde Encontrar. Disponível em: <<http://www.hotsitespetrobras.com.br/dieselpodium/pop.htm>>. Acesso em: 09 out. 2008f.

_____. **Processo H-BIO**: tecnologia Petrobrás para a produção de óleo diesel renovável. Disponível em: <<http://www2.petrobras.com.br/tecnologia/port/hbio.asp>>. Acesso em: 11 out. 2008g.

PIACENTE, Erik Augusto. **Perspectiva do Brasil no mercado internacional de etanol**. Dissertação de Mestrado. 2006 [s.n]. Dissertação (Mestrado em Planejamento de Sistemas Energéticos) Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2006.

PIRES, Adriano; FERNANDEZ, Eloi Fernandez Y;BUENO, Júlio. **Política energética para o Brasil**: propostas para o crescimento sustentável. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 2006.

PORTER, Michael E. **Competição: estratégias competitivas essenciais**. Rio de Janeiro: Editora Campus, 1999.

PORTO, Mauro F. P. **O crepúsculo do petróleo**: acabou-se a gasolina, salve-se quem puder. Rio de Janeiro: Brasport, 2006.

PREFEITURA DA CIDADE DE SÃO PAULO. Lei 12.140 de 05 de julho de 1996. **Acrescenta artigo e altera a redação, introduzindo parágrafos, do artigo 1º da Lei n. 10.950, de 24 de janeiro de 1991**. São Paulo, 1996. Disponível em: <http://portal.prefeitura.sp.gov.br/secretarias/meio_ambiente/legislacao/1996/0001/0015>. Acesso em: 10 out. 2008.

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. **Discurso do presidente da República, Luiz Inácio Lula da Silva, na abertura da 30ª Conferência Regional da FAO para a América Latina e Caribe**. Brasília. Brasília: Secretaria de Imprensa, 2008. Disponível em: <<https://www.fao.org.br/download/discursoPL.pdf>>. Acesso em: 29 maio 2008.

PROC, K; BARNITT, R; MCCORMICK, R. L. **RTD biodiesel (B20) transit bus evaluation: interim review summary**. Colorado: National Renewable Energy Laboratory, 2005.

PROPANE COUNCIL. **Propane**: The Alternative Motor Fuel in the World Seção Fleet – Trades. Disponível em: <<http://www.propanecouncil.org/Fleet.aspx?id=3316>>. Acesso em: 14 out. 2008.

QMCWEB. **Análise da gasolina**. Revista Eletrônica do Departamento de Química – UFSC. Disponível em <<http://www.qmc.ufsc.br/qmcweb/artigos/gasolina.html>>. Acesso em: 01 jun. 2008.

RAJASHEKARA, Kaushik. **History of Electric Vehicles in General Motors**. In: IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 30, nº. 4, jul/ago, 1994. p. 897-904.

RAMOS, Luis Pereira; KUCEK, Carla Tomas; DOMINGOS, Anderson Kurunczi; WIHELM, Helena Maria. **Biodiesel**: um projeto de sustentabilidade econômica e sócio-ambiental para o Brasil. Revista Biotecnologia Ciência & Desenvolvimento, nº. 31, jul/dez 2003.

RANGEL, Armênio Souza Rangel. **Diagnóstico de C&T no Brasil**. São Paulo: MCT, 1995

RAPID TRANSIT PRESS. **Trolleybus from Potrero Division**. San Francisco, CA, 2008. Disponível em: < <http://www.rapidtransit-press.com/mbs51.jpg>>. Acesso em: 05 out. 2008.

RAYMOND, Leonard. Today's fuels and lubricants and how they got that way. In: **History of aircraft lubricants**. Michigan: Society Automotive Engineers – SAE, 1997. p.65-74.

RENEWABLE FUEL ASSOCIATION – RFA. 2007 World fuel ethanol production. **Industry statistics**. 2008. Disponível em: < <http://www.ethanolrfa.org/industry/statistics/>>. Acesso em 15 ago. 2008.

REIS, Manoel, A. S. **Desafios e perspectivas do setor de transporte ferroviário de cargas no Brasil 2008 a 2015**. In: III Brasil nos Trilhos. O desenvolvimento das ferrovias nas próximas décadas. Brasília: FGV, 2008. Disponível em: <www.antf.org.br/Files/BT2008/bt2008-estudofgv.pdf>. Acesso em: 21 jul. 2008.

REVISTA COMBUSTÍVEIS & CONVENIÊNCIA – RCC. **Em busca da fronteira dos pesados**. Rio de Janeiro: Fecombustíveis, ed. 33, dez, 2005. Disponível em: <<http://www.fecombustiveis.org.br/revista/mercado/em-busca-da-fronteira-dos-pesados-2.html>>. Acesso em: 10 out. 2008.

REVISTA TECHNIBUS. **Rio toma a dianteira**. São Paulo, nº.74, 2007. Disponível em: <http://www.revistatechnibus.com.br/destaque_princ/index.php?cod=49&edicao=74&revista=2>. Acesso em: 14 out. 2008.

RIBEIRO, Suzana Kahn (org.). **Estudo das vantagens ambientais do gás natural veicular: o caso do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2001.

_____ (org.). **Barreiras na Implantação de Alternativas Energéticas para o Transporte Rodoviário no Brasil**. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2002.

RIBEIRO, Suzana Kahn *et al.* **Transportation and climate change**. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2003.

RIBEIRO, Suzana Kahn; REAL, Márcia Valle. **Novos combustíveis**. Rio de Janeiro: E-papers, 2006.

RIBEIRO, Suzana Kahn *et al.* Transport and its infrastructure. In: **Climate Change 2007: Mitigation Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. United Kingdom and New York: Cambridge University Press, 2007.

RIFKIN, Jeremy. **A economia do hidrogênio**: a criação de uma nova fonte de energia e a redistribuição do poder na Terra. São Paulo: M.Books, 2003.

ROCKWELL, Jim. **California Alternative Diesel Symposium**. California: ConocoPhillips, 2003. Disponível em: <<http://www.springerlink.com/index/P62047X437268T06.pdf>>. Acesso em: 11 set. 2008.

ROSEIRO, Maria Nazareth Vianna; TAKAYANAGUI, Angela Maria Magosso. **Meio ambiente e poluição atmosférica: o caso da cana-de-açúcar.** In: Revista Saúde, nº. 1 e 2, vol. 30. Centro de Ciência da Saúde, UFSM, 2004. p.76 – 83.

ROSILLO-CALLE, Frank; CORTEZ, Luis A. B. **Towards Proalcohol II: a review of the Brazilian bioethanol programme.** Journal Biomass and Bioenergy, v.14, nº.2, p.115-124, 1998.

RUHMAN, Carolina; GOMES, Fabíola. **Lula comemora descoberta de petróleo no pré-sal do ES.** São Paulo: Estadão, 21 nov. 2007. Disponível em: <http://www.estadao.com.br/economia/not_eco281384,0.htm>. Acesso em: 29 nov. 2008.

SACHS, Ignacy. **Os biocombustíveis estão chegando à maturidade.** Revista Democracia Viva, nº. 29, out/dez, 2005. p.26-31.

SAENZ, Tirso; GARCIA CAPOTE, Emílio. **Ciência, inovação e gestão tecnológica.** Brasília: CNI/IEL/SENAI, ABIPTI, 2002.

SANTOS, Angela M. Medeiros M; BURITY, Priscilla. O complexo automotivo. In: BNDES 50 Anos: histórias setoriais. Brasília: BNDES, 2003.

SANTOS, Mauro Alves dos; MATAI, Patrícia Helena Lara dos Santos. **Aspectos técnicos e ambientais relativos ao uso de biodiesel em motores de combustão.** São Paulo: Revista de Gestão Integrada em Saúde do Trabalho e Meio Ambiente, v.3, nº. 1, jan/abr 2008. Disponível em <http://www.interfacehs.sp.senac.br/br/artigos.asp?ed=6&cod_artigo=108& pag=0>. Acesso em: 13 ago. 2008.

SAMPAIO, Marcelo R. O Ônibus Etano-Elétrico. In: RIBEIRO, Suzana Kahn (org.). **Transporte sustentável: alternativas para ônibus urbano.** Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2001.

SASOL CHEVRON; SHELL INTERNATIONAL GAS LIMITED. **Cost-effectiveness of transportation fuel options for reducing Europe's petroleum dependence.** Final Report. Washington: J. Thijssen, LLC, 2006.

SCANDIFFIO, Mirna Ivonne Gaya; FURTADO, André Tosi. **A liderança do Brasil em fontes energéticas renováveis: uma visão de longo prazo.** In: II Encontro da ANPPAS. São Paulo: 26 a 29 de maio de 2004.

SCANDIFFIO, Mirna Ivonne Gaya. **Análise prospectiva do álcool combustível no Brasil – cenários 2004 – 2024.** Tese de doutorado. 2005. [s.n]. Tese (Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

SCANIA. **With the world's first ethanol truck, Scania offers urban operators the opportunity to take a big step towards sustainable transport.** Seção News Centre. Disponível em: <http://www.scania.com/news/magazines/articles/ethanol_truck/worlds-first-ethanol-truck.asp>. Acesso em: 15 set. 2008.

SCARINGELLA, R. S. **A Crise da Mobilidade Urbana em São Paulo.** In: São Paulo. Perspectiva, v. 15, n. 1, p. 55-59. São Paulo, 2001. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/spp/v15n1/8589.pdf>>. Acesso em: 23 jul. 2008.

SCHABERG, Paul. **Future fuels: issues and opportunities**. In: 11th Diesel Engine Emissions Reduction Conference. Chicago, ago. 2005. Disponível em: <http://www.eere.energy.gov/vehiclesandfuels/pdfs/deer_2005/panel1/2005_deer_schaberg.pdf>. Acesso em: 11 set. 2008.

SCHWARTZMAN, Simon (coord.). **Ciência e tecnologia no Brasil: uma nova política para um mundo globalizado**. Síntese do estudo sobre O estado atual e o papel futuro da ciência e tecnologia no Brasil. São Paulo: Escola de Administração de Empresas da Fundação Getúlio Vargas, 1993.

SCHMIDHUBER, Josef. **Impact of an increased biomass use on agricultural markets, prices and food security: a longer-term perspective**. Apresentado no International Symposium of Notre Europe. Paris, 27-29 nov. 2006.

SCHLINDWEIN, Manoel. **A solução para o caos no trânsito**. In: Revista Desafios do Desenvolvimento. ed. 43. São Paulo: IPEA, maio 2008. p.38-44. Disponível em: <<http://desafios2.ipea.gov.br/sites/000/17/edicoes/43/pdfs/rd43not05.pdf>>. Acesso em: 22 jul. 2008.

SEARLES, Robert A; BOSTEELS, Dirk; SUCH, C. H.; NICOL, A. J.; ANDERSSON, Jon D.; JEMMA, Carl A. **Investigation of the feasibility of achieving euro v heavy-duty emissions limits with advanced emission control systems**. Belgium: Association for Emissions Control by Catalyst, 2002. Disponível em: <www.aecc.be/content/pdf/FISITA%20F02E310-PAPER.pdf>. Acesso em: 03 set. 2008.

SECRETARIA DOS TRANSPORTES METROPOLITANOS DE SÃO PAULO – STMSP. **Ônibus a etanol no corredor ABD**. STMSP, dez. 2007. Disponível em: <<http://www.stm.sp.gov.br/noticias/nt-3298.htm>>. Acesso em: 15 out. 2008.

SECRETARIA DOS TRANSPORTES METROPOLITANOS - STM. **Plano de Expansão**. São Paulo: STM, 2006.

SHELL INTERNATIONAL PETROLEUM COMPANY LIMITED. **Fuelling mobility : 21st century transportation fuels**. Netherlands: SHELL, 2004. Disponível em: <http://www.shell.com/static/shellgasandpower-en/downloads/what_is_gas_to_liquids/fuelmobilitybr.pdf>. Acesso em: 05 ago. 2008.

_____. **What is Gas to Liquids?** SHELL Gas & Power. Seção Products & Services. Disponível em: <http://www.shell.com/home/content/shellgasandpower-en/products_and_services/what_is_gtl/dir_what_is_gtl_1205.html>. Acesso em: 10 set. 2008a.

_____. **Shell Pura Diesel**. Seção Shell in Thailand. Disponível em: <http://www.shell.com/home/content2/thailand-en/shell_for_motorists/fuels/pura_diesel_1113.html>. Acesso em: 11 set. 2008b.

_____. **LPG and buses**. Seção Transport. Disponível em: <<http://www.shellgaslpg.com/site/page/22/lang/en>>. Acesso em: 20 set. 2008c.

SHIVAK, Steven. **Incentives for Early Introduction of Clean Heavy-Duty Engines Open Window of Opportunity for LNG**. In: Alternative Fuels in Trucking. v.4, n^o. 3. Colorado: NREL, 1996.

SILVA JÚNIOR, Roberto França da. **Eliminação de barreiras:** produção de fluidez e circulação no Brasil. Revista Formação – Edição Especial –, nº. 13, v.2, 2002. p.61-86.

SIMPSON, A. **Cost-Benefit Analysis of Plug-In Hybrid Electric Vehicle Technology.** Golden, CO: NREL, 2006.

SMITH, Kirk L; ROGERS, Jamesine; COWLIN, Shannon C. **Household Fuels and Ill-Health in Developing Countries: What improvements can be brought by LP Gás?** Paris: WLPGA, 2005.

SO BIOGRAFIAS. **Jean Joseph Étienne Lenoir.** 2008. Disponível em: <<http://www.dec.ufcg.edu.br/biografias/JeanJose.html>>. Acesso em: 03 jun 2008.

SOUZA, Maria da Conceição S. **Avaliação econômica do Programa Nacional do Alcool (PROÁLCOOL):** uma análise de equilíbrio geral. Rio de Janeiro Revista Pesquisa e Planejamento Econômico, nº. 17, ago. 1987. p. 381-410

SOUZA, Malen Cristi dos S. de; CARVALHO, Suzana M. H; OLIVEIRA, Telma; LELLIS, Vera L. M; APPEL, Lucia G. **DME:** o combustível do futuro. Rio de Janeiro: INT/ DINT, 2005.

STROMQUIST, Nelly P. **Políticas públicas de Estado e equidade de gênero:** perspectivas comparativas. In: Revista Brasileira de Educação, nº. 1, jan/abr, 1996.

SUAREZ, Paulo A. Z; MENEGHETTI, Simoni M. Plentz. **70º aniversário do biodiesel em 2007:** evolução histórica e situação atual no Brasil. Revista Química Nova vol. 30, n. 8, p. 2068-2071, 2007.

TAVARES, Walkyria M. Leitão. **Os fundos setoriais de ciência e tecnologia e seu impacto sobre o setor.** Brasília: Câmara dos Deputados, 2005.

TIAX LLC. **The transit bus niche market for alternative fuels:** overview of propane (LPG) as a transit bus fuel. California: TIAX LLC, 2003.

TORRES, Ednildo Andrade; CHIRINOS, Hugo David; ALVES, Carine Tondo; SANTOS, Danilo Cardoso; CAMELIER, Luis Alberto. **Biodiesel:** o combustível para o novo século. Revista Bahia Análise & Dados. Salvador, v. 16, n. 1, p. 89-95, jun. 2006.

TRANSPORT CANADA. **Biodiesel in Transit and Municipal Fleets.** Seção Case Study Library. Disponível em: <http://www.tc.gc.ca/programs/Environment/utsp/docs/casestudies/PDF/cs31E_biodiesel.pdf>. Acesso em: 14 set. 2008.

TROLLEYBUS UK. **Trolleybus systems in EU and EEA countries as at 20 August 2008.** Disponível em: <<http://www.tbush.org.uk/newsreview.htm>>. Acesso em: 05 out. 2008.

ULLER, Victor Cohen. **Oportunidades e desafios da colocação dos óleos brasileiros no mercado internacional:** o refino e o mercado norte-americano de combustíveis. Dissertação de Mestrado, 2007. 226 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2007.

ÚNICA – UNIÃO DA INDÚSTRIA DA CANA-DE-AÇÚCAR. **UNICA aplaude comentários pró-etanol brasileiro do presidente do Fed, Ben Bernanke.** 2008. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/noticias/show.asp?nwsCode={6E279CB1-8A16-47FD-B128-5676C08D2C77}>>>. Acesso em: 29 maio 2008.

UNION OF CONCERNED SCIENTISTS. **Diesel Trucks: Air Pollution and Public Health.** Seção Clean Vehicles, 2008. Disponível em: <http://www.ucsusa.org/clean_vehicles/vehicle_impacts/diesel/diesel-trucks-air-pollution.html>. Acesso em: 20 nov. 2008.

UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAMME – UNDP. **Renewable energy Technologies.** In: Energy and the challenge of sustainability. New York: UNDP, 2000. p.219-272.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – USEPA. **Clean Alternative Fuels: Compressed Natural Gas.** EPA, 2002.

UNITED STATES DEPARTMENT OF ENERGY - USDOE. **A National Vision of America's Transition to a Hydrogen Economy – To 2030 and Beyond.** Washington: ESDE, 2002a.

_____. **National Hydrogen Energy Roadmap: production, delivery, storage, conversion, applications, public education and outreach.** Washington: USDOE, 2002b.

_____. **Fuel cell report to Congress.** Washington: DOE, 2003a.

_____. **Technology Options: for the near and long term.** Washington: DOE, 2003b.

_____. **ThunderPower Bus Evaluation at SunLine Transit Agency.** Colorado: NREL, 2003c.

_____. **What is Fischer-Tropsch diesel?** Seção Alternative Fuels and Advanced Vehicles Data Center. AFDC, 2007. Disponível em: <http://www.eere.energy.gov/afdc/fuels/emerging_diesel_what_is.html>. Acesso em 11 set. 2008.

UNITED STATES DEPARTMENT OF TRANSPORTATION – USDOT. **Design Guidelines for Bus Transit Systems Using Electric and Hybrid Electric Propulsion as an Alternative Fuel.** USDOT, 2003.

UNITED STATES GOVERNMENT ACCOUNTABILITY OFFICE – GAO. **Motor fuels: understanding the factors that influence the retail price of gasoline.** GAO, 2005.

UNITED STATES PATENT OFFICE. **Gas Motor Engine. Letters Patent nº 388,372.** 1888.

_____. **Internal-Combustion Engine. Letters Patent nº 736,944.** 1903.

_____. **Fuel components, fuel compositions and methods of making and use same.** Pub. Nº. US 2008/0092829, apr. 24, 2008.

URQUIAGA, Segundo; ALVES, Bruno José Rodrigues; BOODEY, Roberto Michael. **Produção de biocombustíveis: a questão do balanço energético.** Revista Política Agrícola, ano XIV, nº.1, jan/mar 2005. p.42-46.

VALENTIM Marta Lígia Pomim. **Informação em ciência e tecnologia: políticas, programas e ações governamentais – uma revisão de literatura.** Revista Ciência da Informação. Brasília, v. 31, nº. 3, p. 92-102, set./dez. 2002.

VERONESE, Alexandre. **A busca de um novo modelo de gestão para a ciência, tecnologia e inovação na política do MCT (1995 – 2002)**. In: RAP, Rio de Janeiro, v. 40, jan/fev. 2006. p. 107-124.

VIANNA, João Nildo de Souza. **Biodiesel: inclusão social, capital ambiental e segurança energética**. Brasília: UNB/SEI, 2008. Disponível em: <<http://professores.cds.unb.br/jnildo/pub/?CODE=03&COD=Artigos>>. Acesso em: 23 jan. 2009.

VIEGAS, Waldyr. **Fundamentos de metodologia científica**. Brasília: Paralelo 15 – Editora Universidade de Brasília, 1999.

WALSH, Michael P. **Tendências atuais na redução mundial do teor de enxofre**. In: Mesa redonda sobre baixo teor de enxofre e combustíveis alternativos no Brasil. São Paulo: ICCT, 2004. Disponível em: <http://www.theicct.org/documents/Walsh_Sulfur_2004_Port.pdf>. Acesso em: 27 ago. 2008.

WALSH, Michael P. **Global trends in clean fuels and vehicles**. In: Board Chairman, International Council on Clean Transportation. Bogota, Colômbia, jul. 2007

WASHINGTON STATE ENERGY OFFICE – WSEO. **Alcohol-fueled vehicles: an alternative fuels vehicle, emissions, and refueling infrastructure technology assessment**. Washington: WSEO, 1993. Disponível em: <<http://www.osti.gov/energycitations/servlets/purl/258222-JPDGKj/webviewable/258222.PDF>>. Acesso em: 15 set. 2008.

WESTERN GOVERNORS ASSOCIATION – WGA. **Transportation Fuels for the Future: A Roadmap for the West**. Colorado: WGA, 2008.

WHITACRE, Shawn D. **The impact of lubricant formulation on emissions from a medium-duty diesel engine**. In: 8th Diesel Engine Emissions Reduction Conference. Califórnia: U.S. Department of Energy, 25-29 aug. 2002.

WIPKE, Keith; SPRIK Sam; KURTZ, Jennifer; GARBAK, John. **DOE's Hydrogen Fuel Cell Activities: Developing Technology and Validating it through Real-World Evaluation**. In: Alternative Fuels & Vehicles Conference. Las Vegas, 12 maio 2008a.

WIPKE, K; SPRIK, S; KURTZ, J; GARBAK, J. **Fuel Cell Vehicle Learning Demonstration: Spring 2008 Results**. In: Annual Hydrogen Conference 2008. Califórnia: 30 a 3, mar/abr, 2008b.

WOODS, J; BAUEN, A. **Technology status review and carbon abatement potential of renewable transport fuels in the UK**. London: Crown, 2003. Anexo I - Methanol from wood via gasification.

WORLD COAL INSTITUTE – WCI. **Coal: liquid fuels**. United Kingdom:WCI, 2006. Disponível em: <http://www.worldcoal.org/assets_cm/files/PDF/wci_coal_liquid_fuels.pdf>. Acesso em: 11 set. 2008.

_____. **Coal facts. 2007 edition with 2006 data**. 2007. Disponível em: <<http://www.worldcoal.org/pages/content/index.asp?PageID=188>>. Acesso em: 17 jun. 2008.

WORLD ENERGY CONCIL – WEC. **2007 Survey of Energy Resources**. London: WEC, 2007.

WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO. **Deaths and DALYS attributable to 3 environmental risk factors.** 2007. Disponível em: <http://www.who.int/quantifying_ehimpacts/national/countryprofile/intro/en/index.html>. Acesso em: 10 nov. 2008.

WORLD LP GAS ASSOCIATION – WLPGA. **Health effects and costs of vehicle emissions.** Paris: WLPGA, 2005.

_____. **Modern Energy Anywhere.** Paris: WLPGA, 2006.

_____. **Annual Report 2007.** Paris: WLPGA, 2007.

YACOBUCCI, Brent D.; CURTRIGHT, Aimee E. **A Hydrogen Economy and Fuel Cells: An Overview.** Washington: Congressional Research Service, 2004.

YAMANISHI, Érika. **Simulação, análise e otimização das colunas atmosféricas e debutanizadora da unidade de destilação de refino de petróleo.** Dissertação de Mestrado, 2007. [s.n]. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Faculdade de Engenharia Química, Universidade de Campinas, 2007.

YERGIN, Daniel **O petróleo: uma história de ganância, dinheiro e poder.** São Paulo: Scritta, 1992.

ZULAUF, Mark. **Geração com biogás de aterros de lixo.** In: Dossiê Energia Positiva para o Brasil. Brasília: GREENPEACE, 2004.

APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO APLICADO PARA ESPECIALISTAS DE EMPRESAS FABRICANTES DE ÔNIBUS E CAMINHÕES E CENTROS DE PESQUISAS DE UNIVERSIDADES.

INSTRUMENTO DE PESQUISA	
<p>Universidade de Brasília Centro de Desenvolvimento Sustentável Mestrado em Desenvolvimento Sustentável – Política e Gestão em C&T.</p>	
APRESENTAÇÃO	
<p>O presente instrumento tem como objetivo subsidiar a realização de trabalho de pesquisa de mestrado. Essa pesquisa ajudará a identificar: a disponibilidade e o atual estágio de desenvolvimento de tecnologias capazes de reduzir as emissões de poluentes atmosféricos de ônibus e caminhões no Brasil; os fatores que restringem ou dificultam o desenvolvimento e utilização dessas tecnologias em escala comercial; e a capacidade das atuais políticas públicas de promover a inserção dessas tecnologias no mercado.</p>	
TEMA	
<p>Fatores incidentes no uso de tecnologias capazes de reduzir as emissões de ônibus e caminhões no Brasil.</p>	
ALUNO	
<p>Fernando Nonato da Silva</p>	
NOME DO ENTREVISTADO	CONFIDENCIAL
INSTITUIÇÃO EM QUE ATUA	CONFIDENCIAL
INFORMAÇÕES ADICIONAIS	
<p>As informações prestadas poderão ou não ter o nome do entrevistado e da instituição divulgados. Caso o entrevistado permita a identificação basta preencher o campo “CONFIDENCIAL” com a palavra “NÃO”. Quando este campo estiver preenchido com a palavra “SIM” ou estiver em branco, as informações de identificação serão consideradas confidenciais e somente poderão ser divulgadas de forma consolidadas, sem a possibilidade de identificação direta ou indireta das fontes.</p> <p>Quanto à resposta da primeira pergunta apresentada a seguir, se confidencial, nesse caso basta informar se já desenvolveu ou desenvolve e, se possível, o atual estágio de desenvolvimento (tempo previsto para a utilização em escala comercial).</p>	

1 – Existem fatores restritivos ou impeditivos ao desenvolvimento e comercialização de tecnologias capazes de reduzir as emissões de poluentes atmosféricos de ônibus e caminhões no Brasil (fatores técnicos, econômicos, políticos, culturais, sociais, etc.)? Se sim, quais são? Se não, por que quase a totalidade dos ônibus e caminhões funciona com motores a diesel, mesmo diante da possibilidade da escassez do petróleo e dos altos índices de emissões de poluentes atmosféricos desses veículos?

2 – As atuais políticas públicas brasileiras (energética, transporte, ambiental, ciência e tecnologia, etc.) são suficientes e adequadas para inserir no mercado as tecnologias redutoras das emissões de poluentes atmosféricos de ônibus e caminhões? Se não, por quê?

APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO APLICADO PARA OS DEMAIS ENTREVISTADOS.

INSTRUMENTO DE PESQUISA	
Universidade de Brasília Centro de Desenvolvimento Sustentável Mestrado em Desenvolvimento Sustentável – Política e Gestão em C&T.	
APRESENTAÇÃO	
O presente instrumento tem como objetivo subsidiar a realização de trabalho de pesquisa de mestrado. Essa pesquisa ajudará a identificar os fatores que restringem ou dificultam o desenvolvimento e a utilização em escala comercial de tecnologias redutoras das emissões de poluentes atmosféricos de ônibus e caminhões e a capacidade das atuais políticas públicas de promover a inserção das respectivas tecnologias no mercado.	
TEMA	
Fatores incidentes no uso de tecnologias capazes de reduzir as emissões de ônibus e caminhões no Brasil.	
ALUNO	
Fernando Nonato da Silva	
NOME DO ENTREVISTADO	CONFIDENCIAL
INSTITUIÇÃO EM QUE ATUA	CONFIDENCIAL
INFORMAÇÕES ADICIONAIS	
As informações prestadas poderão ou não ter o nome do entrevistado e da instituição divulgados. Caso o entrevistado permita a identificação basta preencher o campo “CONFIDENCIAL” com a palavra “NÃO”. Quando este campo estiver preenchido com a palavra “SIM” ou estiver em branco, as informações de identificação serão consideradas confidenciais e somente poderão ser divulgadas de forma consolidadas, sem a possibilidade de identificação direta ou indireta das fontes.	

1 – Existem fatores restritivos ou impeditivos ao desenvolvimento e comercialização de tecnologias capazes de reduzir as emissões de poluentes atmosféricos de ônibus e caminhões no Brasil (fatores técnicos, econômicos, políticos, culturais, sociais, etc.)? Se sim, quais são? Se não, por que quase a totalidade dos ônibus e caminhões funciona com motores a diesel, mesmo diante da possibilidade da escassez do petróleo e dos altos índices de emissões de poluentes atmosféricos desses veículos?

2 – As atuais políticas públicas brasileiras (energética, transporte, ambiental, ciência e tecnologia, etc.) são suficientes e adequadas para inserir no mercado as tecnologias redutoras das emissões de poluentes atmosféricos de ônibus e caminhões? Se não, por quê?

ANEXO – AUTORES UTILIZADOS COMO REFERÊNCIA NO ESTUDO DA NREL

Author	Affiliation	Title	Date	Summary
Wells, Jim	Natural Resources and Environment	Alternative Motor Fuels Impact on the Transportation Sector, Testimony before Committee on Finance, US Senate	7/10/01	Overview of status of AF and AFVs. Lists basic barriers of low oil prices and inadequate incentives/funding
Wells, Jim	Natural Resources and Environment	Research and Development, Lessons Learned from Previous Research Could Benefit FreedomCAR Initiative, Testimony to the HR	6/6/02	Lessons learned, including be sure that the activities will impact the goal (i.e., AFV acquisitions when the goal is to reduce petroleum use), reevaluate regularly
Brown, Matthew H.; Breckenridge, Leah	National Conference of State Legislatures	State Alternative Fuel Vehicle Incentives: A Decade and More of Lessons Learned	2/1/06	Review of State incentives and which work: Focused, Large, Easy to Administer, Include infrastructure, grant based
DeCicco, John M.	Society of Automotive Engineers	Fuel Cell Vehicles: Technology, Market, and Policy Issues	11/1/01	To deploy fuel cell vehicles we'll need technology advancement for vehicles, cost reduction, resolution of infrastructure barriers
Jackson, Michael D.; Kaahaaina, Nalu; Fable, Scott	Arthur D Little, Acurex Environmental	Lessons Learned from Past Strategies to Reduce Petroleum Dependence	9/17/01	Strategies include improved efficiency, advanced technologies, alternative fuels, affecting consumer behavior, and laws and incentives
Patterson, Phil; Alson, Jeff; Lance, Linda; Brown, Kelly; Hawkins, David; Ditlow, Clarence; Dana, Greg	Various	Lessons from 30 Years of Automotive Energy and Air Quality Policy: An Interactive Round Table	6/21/05	Asilomar proceedings: Congestion is number one concern of consumers, consumers don't know about the technology of their vehicles
McCormick, Gary L.; Russell, Richard B.	Gannett Fleming, Inc.	Alternative Bus Fuels: What Have We Learned		Successful AF bus fleets: Investigate fuels, Understand costs and budget, plan for today and future use, research long-term fuel contracts, assemble team of experts, work with local officials, training
Leiby, Paul; Rubin, Jonathan	ORNL, U of ME	Transition Modeling of AFVs and Hybrids: Lessons Learned	7/3/05	Key transition barriers: vehicle and infrastructure, fuel availability, poor economies of scale, poor diversity of choice, low oil prices
Nesbitt, Kevin; Sperling, Daniel	University of California, Davis	Myths Regarding Alternative Fuel Vehicle Demand by Light-Duty Vehicle Fleets	6/20/05	Review of fleets as early adopters
Leiby, Paul; Rubin, Jonathan	ORNL, U of ME	Understanding the Transition to New Fuels and Vehicles: Lessons Learned from Analysis and Experience of Alternative Fuel and Hybrid Vehicles	10/31/03	AFVs are mature technology, but not in the marketplace; review of issues in the deployment of AFVs
Baxley, Phillip; Verdugo-Peralta, Cynthia; Weiss, Wolfgang	CA Hydrogen Highway	California Hydrogen Highway Network Rollout Strategy Topic Team	11/28/04	Niches worked but it is difficult to translate that into widespread commercial acceptance
Zhao, Jimin; Meliana, Marc W.	University of Michigan	Transition to Hydrogen-Based Transportation in China: Lessons Learned from Alternative Fuel Vehicle Programs in the US and China	7/4/06	Experience, Barriers, and recommendations: focus on hybrids near term, review and balance options, specify goals, education and marketing are key, coordinate vehicles/infra/maintenance
Santini, Danilo J.; Vyas, Anant D.	ANL	How is Technology Adopted? A Discussion of Hybrid-Electric and Diesel Technology Consumer Preferences	1/10/04	Review of hybrid buyers preferences
Parish, Richard	NREL	Implementing Alternative Fuels in Transportation Vehicles	6/27/05	List of factors affecting market penetration of AFVs
Wells, Jim	Natural Resources and Environment	Energy Policy Act of 1992: Limited Progress in Acquiring	2/1/00	Overview of EPAct progress and issues with EPAct mandates

Author	Affiliation	Title	Date	Summary
		Alternative Fuel Vehicles and Reaching Fuel Goals, GAO Report		
Schulte, Inga; Hart, David; van der Vorst, Rita	Imperial College Center for Energy Policy and Technology	Issues Affecting the Acceptance of Hydrogen Fuel	9/2/03	Review of market research on what consumers think of H2 vehicles and fuel and what motivates purchase decisions
US DOE	Clean Cities Program	Clean Cities 2004 Roadmap	6/26/05	Overview of Clean Cities portfolio and barriers to the implementation of each technology/strategy
McNutt, Barry; Rodgers, David	US DOE	Lessons Learned from 15 Years of Alternative Fuels Experience, 1988 to 2003	6/25/05	Lessons learned, including niches don't translate into broader market; economies of scale of conventional fuels a difficult barrier
Robertson, Bernard I.; Beard, Loren K.	Chrysler	Lessons Learned in the Deployment of Alternative Fueled Vehicles	6/26/05	Must have broad/accepted goals, rely on total life cycle analysis, viewed as a system (vehicles and infra), government must level playing field with conventional fuels
DeCicco, John M.	Environmental Defense	The "Chicken or Egg" Problem Writ Large: Why a Hydrogen Fuel Cell Focus is Premature	6/26/05	
Sperling, Dan; Cannon, James S	UC Davis	Hydrogen Hope or Hype	6/26/05	
Research Reports International	The Market for Alternative Fuel Vehicles		12/4/06	Review of mfg. Activities, federal and state programs, progress in AF to date.
Gross, Tom			5/5/06	Current federal policy for R&D is not enough. Need to develop marketplace. Start with distributed generation then transfer to APU and Vehicles.
Baxter-Clemmons, Shannon	Cal EPA	California Hydrogen Highway Network Rollout Strategy	5/5/06	Steps to implementation: Top down leadership, implementation strategy, stakeholder buy-in, phased approach
CONEG Policy Research Center	Refueling Alternative Fuel Vehicles: Lessons Learned from the Marketplace		5/1/95	
DeCicco, John M. etc.	ACEEE			Transportation on a Greenhouse Planet: A Least-Cost Transition Scenario for the United States
US DOE	A National Vision of America's Transition to a Hydrogen Economy - to 2030 and Beyond		2/1/02	
US DOE	National Hydrogen Energy Roadmap		11/1/02	
US DOE	Hydrogen Posture Plan		2/1/04	
10 CFR Part 490	Alternative Fuel Transportation Program: Private and Local Government Fleet Determination		1/29/04	Review of program status and potential for petroleum displacement. Options described briefly
Lovins, Amory B.; Williams, Brett D.	Rocky Mountain Institute	A Strategy for the Hydrogen Transition	4/1/99	Focus on decentralized production of H2 for max. benefits. Distributed power applications first with transportation to follow.
Greene, David L.	ORNL	Climate Change Policy for Transportation while Waiting for H2		Need incentives to stimulate GHG reductions to promote H2 as an energy carrier for transportation.
Cal EPA	California Hydrogen Blueprint Plan, volume 1		5/1/05	Background, rational, and