

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia - PIPGE

HUMBERTO RENATO DE OLIVEIRA

ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E AMBIENTAL PARA UTILIZAR MISTURA ÁLCOOL ANIDRO / DIESEL / ADITIVO EM FROTA DE ÔNIBUS URBANOS

Dissertação Apresentada ao Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia – PIPGE (Escola Politécnica, Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Instituto de Física e Instituto de Eletrotécnica e Energia) da Universidade de São Paulo, para concorrer ao Título de Mestre.

Orientadora:

Prof.^a Dr.^a Suani Teixeira Coelho

São Paulo

2003

PROGRAMA INTERUNIDADES DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIA

INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA – ESCOLA POLITÉCNICA – FACULDADE DE ECONOMIA E ADMINISTRAÇÃO – INSTITUTO DE FÍSICA

TERMO DE JULGAMENTO DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Aos vinte e três dias do mês de junho de 2003, às 9 horas:30min, no Auditório do Prédio de Materiais do Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo, presente a Comissão Julgadora, integrada pelos Professores Doutores: Suani Teixeira Coelho, José Roberto Moreira e Luiz Augusto Horta Nogueira, iniciou-se a Defesa de Dissertação de Mestrado do Sr. **Ilumberto Renato de Oliveira**, intitulada:

"Estudo de Viabilidade Técnica Econômica e Ambiental para Utilizar Mistura Álcool Anidro/Diesel/Aditivo em Frota de Ônibus Urbano"

Concluída a arguição, procedeu-se ao julgamento na forma regulamentar, tendo cada membro da Comissão Julgadora considerado o candidato (aprovado/reprovado).

Para constar, é lavrado o presente termo, que vai assinado pela Comissão Julgadora.

Assinatura	Conceito
Prof.ª Dr.ª Suani Teixeira Coelho - Presidente	(Aprovado)
Prof. Dr. José Roberto Moreira	(Aprovado)
Prof. Dr. Luiz Augusto Horta Nogueira	(Aprovado)
O candidato foi considerado	Aprovado

Observação:

A banca considerou que o título da versão final deve excluir o termo "econômica".

Autorização

Autorizo a reprodução e/ou divulgação total ou parcial da presente obra, por qualquer meio convencional ou eletrônico, desde que citada a fonte.

Humberto Renato de Oliveira

Ass: 

Universidade de São Paulo

Programa Interunidades de Pós Graduação em Energia

Av. Luciano Gualberto n.1285, São Paulo-SP

humberto_renato@yahoo.com

Dedico este trabalho, com muito carinho, aos meus pais, Sebastiana e Jair de Oliveira, e a meu irmão, Carmo de Oliveira, pelo apoio e confiança ao longo de toda minha formação.

AGRADECIMENTOS

Correndo o risco de omissão, desejo expressar minha gratidão a todos, em especial a professora Suani, por sua orientação, pelas sugestões na elaboração deste trabalho, bem como pelo carinho, paciência e ajuda em um momento muito difícil de minha vida, ocorrido no ano de 2001.

Aos meus filhos, João Netto e Humberto Filho pelo estímulo e incansável compreensão de minha ausência como pai. A Luciana, que ao longo dessa jornada foi mãe e pai dos meus filhos.

Ao grande mestre Gilberto Oswaldo Ieno, pela recomendação ao programa e pelo incessante estímulo.

Aos colegas Marcos e Marcelo Lopes, Ricardo (Zico), Julio, Gisa, Anette, Rosa.

A todos que, direta ou indiretamente, colaboraram na execução deste trabalho.

Sumário

Lista de gráficos

Lista de tabelas

Lista de nomenclatura

Resumo

Abstract

Capítulo 1 - Introdução

1.1 Apresentação 21

1.2 Objetivos 25

1.3 Justificativa 28

Capítulo 2 – Fontes alternativas utilizadas em ônibus urbanos

2.1 Eletricidade 31

2.2 Biodiesel	33
2.3 Gás Natural	35
2.4 Hidrogênio	36
2.5 Álcool	41
2.6 Álcool - Diesel	42

Capítulo 3 - A poluição atmosférica e a participação dos veículos automotores

3.1 A influência do combustível e tipo de motor nas emissões veiculares	45
3.1.1 Emissões de escape dos veículos a gasolina e álcool	46
3.1.2 Emissões por evaporação	47
3.1.3 Emissões por motores do ciclo Diesel	48
3.2 Fatores de emissão	50
3.3 Os danos causados pela poluição à saúde humana	52
3.3.1 Monóxido de carbono - CO	52
3.3.2 Hidrocarbonetos - HC	53
3.3.3 Óxidos de Nitrogênio - NOx	53

3.3.4 Oxidos de enxofre - SO_x	54
3.3.5 Material Particulado - MP	54
3.3.6 Dioxido de carbono - CO₂	55
3.3.8 Aldeídos	56
3.4 O controle da poluição veicular	56

Capítulo 4 - O Proálcool e os derivados de petróleo na matriz energética brasileira

4.1 O Programa Nacional do Álcool – Proálcool	57
4.1.1 Situação atual e perspectivas para o futuro do programa	59
4.2 Petróleo e seus derivados	64
4.2.1 Estrutura de refino	64
4.2.2 Consumo de derivados e setores consumidores	65
4.2.3 Energéticos importados	67
4.3 Participação do petróleo e derivados na balança comercial	69

Capítulo 5 - Análise técnica da mistura álcool / diesel / aditivo AEP-102

5.1 Introdução	71
5.2 Resumo das características dos motores de combustão interna	71
5.2.1 Bombas injetoras	73
5.2.1.1 Bombas rotativas	74
5.2.1.2 Bombas em linha	75
5.3 Experiência Internacional sobre a viabilidade técnica da MADA	76
5.3.1 Suécia	77
5.3.2 Estados Unidos	79
5.4 O programa brasileiro da MADA	80
5.4.1 Conceituação dos testes	82
5.4.2 Descrição da mistura	83
5.4.3 Função do aditivo na formação do combustível	84
5.4.4 Preparação e estabilidade da mistura	86
5.4.5 Demonstração de campo	90
5.4.5.1 Resultados da demonstração	91
5.4.5.2 Durabilidade do sistema de injeção - resultados de campo	92
5.4.6 Durabilidade do sistema de injeção em laboratório	94
5.4.7 Emissões de fumaça	96
5.4.8 Ensaio de desempenho e emissões	97
5.4.8.1 Resultado dos parâmetros avaliados	98

Capítulo - 6 A Implementação da Mistura / Álcool / Diesel / Aditivo AEP-102 na frota de ônibus da Região Metropolitana de Curitiba

6.1 Resumo 101

6.2 Transporte coletivo da RMC: aspectos históricos e operacionais 101

6.3 A frota de ônibus na RMC 104

6.4 Impacto ambiental 106

6.4.1 Influência da velocidade de tráfego nas emissões veiculares 107

6.4.2 Fatores de emissão para os veículos movidos a diesel 110

6.5 Consumo de óleo diesel 113

Capítulo - 7 Conclusões e recomendações 114

7.1 Referências bibliográficas 118

7.2 Bibliografia consultada 125

Lista de Gráficos

Gráfico.1 Produção de Álcool 1990-2002	59
Gráfico.2 Vendas de Carros a Álcool	60
Gráfico.3 Volume de Derivados nas Refinarias Brasileiras	65
Gráfico.4 Importação de Derivados de Petróleo [10^3 m^3]	68
Gráfico.5 Importação de Derivados - 2002	70
Gráfico.6 Solubilidade MADA-8	89
Gráfico.7 Média dos Resultados dos Ensaios de Emissão	96
Gráfico.8 Emissões de CO	108
Gráfico.9 Emissões de HC	108
Gráfico.10 Emissões de NO_x	109

Lista de tabelas

Tab.1 Tipos de Células de Combustível	37
Tab.2 - Limite Máximo de Emissão de Poluentes para Veículos Leves	50
Tab.3 - Limite Máximo de Emissão de Poluentes p/ Veículos Pesados	51
Tab.4 Principais Derivados de Petróleo	64
Tab.5 Mercado de Álcool Combustível na Suécia	78
Tab.6 Caracterização Físico-Química da MADA	86
Tab.7 Acompanhamento de Batelada	87
Tab.8 Acompanhamento da Frota Experimental	91
Tab.9 Variações Percentuais Comparadas ao Diesel Tipo-C	98
Tab.10 Frota de Curitiba	105

Tab.11 Frota da Região Metropolitana de Curitiba	105
Tab.12 Fatores Médios de Emissões: Ônibus Urbanos	110
Tab.13 Ensaio de Emissões de Poluentes para Motores de Ônibus	111
Tab.14 Fatores de Emissões	112
Tab.15 Redução com Importações de Diesel	113

Lista de nomenclatura

MADA: Mistura de álcool anidro/diesel/aditivo

MADA - 8: Mistura de 8% álcool anidro / 89,4%diesel / 2,6% aditivo AEP-102

MADA - 11,2: Mistura de 11,2% álcool / 86,2% diesel / 2,6 aditivo AEP -102

MAD - 3: Mistura de 3% de álcool anidro/ 97% de óleo diesel

PAFC: Células de ácido fosfórico

PEMCF: Células de membrana polimérica

AEAC: Álcool Etílico Anidro Combustível

NEH: Nitrato de 2-Etil Hexanol

ANP: Agência Nacional do Petróleo

ANTP: Associação Nacional dos Transportes Públicos

Resumo

OLIVEIRA, H. R. **Viabilidade técnica e ambiental da mistura álcool/diesel/aditivo em frota de ônibus urbanos**. 2003, 131p. Dissertação de Mestrado – Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo.

O presente trabalho analisa a viabilidade técnica e ambiental da mistura álcool / diesel / aditivo AEP-102 (MADA), proposta para ser usada como combustível nas frotas de ônibus urbanos na cidade e Região Metropolitana de Curitiba, como uma alternativa para reduzir o consumo de óleo diesel, as importações de petróleo e diesel e as emissões de poluentes atmosféricos. De início é feita uma breve revisão bibliográfica das principais fontes alternativas, destacando os pontos positivos e as suas dificuldades em relação ao uso convencional. Aborda-se a criação do programa nacional do álcool, situação atual e perspectivas para o futuro do programa com a entrada de novas tecnologias, o perfil de consumo de derivados e a estrutura de refino no Brasil. Analisa-se parte do relatório de teste que menciona a formação da mistura álcool / diesel / aditivo, características do aditivo, resultados laboratoriais: físico-químicos (emissões, desgaste do sistema de injeção), testes de bancada com a MADA, monitoramento dos ônibus utilizados nos testes de campo, baseado apenas na utilização da MADA - 11,2 (motor, emissões e sistema de injeção). Verifica-se que o uso da MADA pode contribuir para redução de emissões de poluentes, principalmente o material particulado; se ampliado em grande escala, pelo aspecto energético, pode haver uma redução nas

importações de petróleo e derivados. Apresenta-se as questões de difícil solução atribuídas ao uso do combustível como o desgaste prematuro nos componentes do sistema de injeção, provocado pela baixa lubricidade do combustível, e a instabilidade da MADA nas condições de estocagem, bem como os aspectos a serem analisados em futuros trabalhos.

Palavra-chave: ônibus, combustível, álcool, diesel

Abstract

OLIVEIRA, H. R. Technical and Environmental Feasibility of alcohol/diesel/additive mixture for urban buses. 2003, 131p. Master of Science Thesis – Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo.

This work analyses the technical and environmental feasibility of the alcohol / diesel / additive AEP-102 (MADA) mixture, proposal to be used as fuel for the buses fleets of Curitiba City and its nearby region, as an alternative to reduce diesel consumption, petroleum and diesel importation, and gas emission to the atmosphere. The thesis starts with a brief bibliographic review of the main alternative sources, pointing out positive aspects and their difficulties with relations to the conventional use. The text discusses the creation of the alcohol national program, its actual and future perspectives with the migration of new technology, the consumption profile of petroleum related products and the refining structure in Brazil. It analyzes part of the testing report which mentions the creation of alcohol / diesel / additive mixture, the additive characteristics, and laboratories results: physical-chemical, emissions, fuel injection system wear, bench tests with MADA, and monitoring the buses used on field tests, based only on MADA – 11,2 usage (motor, emissions and injection system). One can see that the use of MADA can contribute to emission reduction, mainly particles. On a macro view, by means of energy aspects, there could be a crude and petroleum based products importation reduction. The document brings up hard solving questions imputed by the use of this

fuel, as the premature wear off of the injection system components, caused by the low lubricity of the fuel, and MADA instability at storage condition, as well topics to be studied in future works.

Key words: Bus, fuel, alcohol, and diesel

Capítulo 1 - Introdução

1.1 - Apresentação

No Brasil, as despesas com importação de petróleo e derivados representam um dispêndio expressivo de divisas, contribuindo de forma significativa para o comprometimento da balança de pagamentos do país. Mesmo com a redução do volume importado verificada nos últimos anos, somente no ano de 2002 houve um dispêndio, com essas importações, no valor de US\$ 5,2 bilhões [1].

Devido às características do seu setor de transporte, o Brasil é hoje um dos maiores importadores de óleo diesel do mundo. Atualmente, o diesel já representa o principal item na pauta de importação de produtos derivados. Segundo os dados da ANP, somente no ano de 2002, os custos com importações de óleo diesel representaram cerca de 47% do total dos gastos com derivados [1].

Com o aumento significativo da demanda de óleo diesel nas últimas duas décadas, o perfil do refino foi alterado consideravelmente, a ponto de o parque de refino brasileiro estar direcionado para extrair o máximo de diesel de cada barril de petróleo refinado.

Os rendimentos obtidos, em derivados, com relação ao petróleo processado, dependem do tipo de petróleo e da complexidade da refinaria. Nas refinarias brasileiras, o aproveitamento médio de óleo diesel extraído de um barril é de

35%, número superior ao de países desenvolvidos como o dos Estados Unidos, que é de 18%, e o do Japão, de 25% [2]. Isto ocorre porque a especificação do diesel brasileiro foi alterada ficando mais flexível para atender o consumo brasileiro. Mesmo com esta alta produtividade, a produção é insuficiente para suprir toda a demanda deste derivado.

O crescimento urbano acelerado, verificado nas últimas décadas, nas principais cidades brasileiras, e a concentração das suas atividades econômicas em áreas centrais têm contribuído de forma significativa para o aumento da deterioração da qualidade do ar, elevando os custos sociais e, conseqüentemente, provocando sérios danos à saúde da população.

Atualmente, a poluição atmosférica é um dos principais problemas ambientais e de saúde pública enfrentados nas grandes cidades. Pesquisas já realizadas dão conta de que em centros urbanos, como a região metropolitana de São Paulo, os veículos são responsáveis por mais de 90% do total das emissões de monóxido de carbono (CO) na atmosfera [3].

Os veículos movidos a óleo diesel são emissores de NO_x , SO_2 , hidrocarbonetos e, principalmente, de material particulado, sendo 80% deste material fuligem (fumaça negra). Essa fuligem é composta principalmente de carvão, o qual absorve substâncias tóxicas, irritantes e cancerígenas. Neste esse conjunto de

veículos, os ônibus são certamente os maiores emissores de poluentes atmosféricos, principalmente devido à grande quantidade que circula nas regiões mais povoadas das grandes cidades.

Estudos realizados por pesquisadores da Universidade Federal de São Paulo, dentre outros, comprovam os efeitos nefastos das partículas produzidas pela queima do óleo diesel quando em contato com o organismo. Essas partículas têm diâmetro muito pequeno e conseguem ultrapassar os sistemas de filtragem do corpo humano e alojam-se nos brônquios e alvéolos pulmonares, e provocando problemas respiratórios, entre os quais podemos destacar as alergias, bronquite, asma [4].

O impacto ambiental do óleo diesel, aliado à dependência econômica que ele ocasiona, certamente representa uma restrição cada vez mais significativa para o seu uso. Nesse sentido, retomou-se no ano de 1997 o projeto de avaliação da viabilidade técnica do uso da mistura álcool / diesel / aditivo (MADA) por iniciativa do setor sucroalcooleiro em conjunto com o Governo Federal, através do Ministério de Ciência e Tecnologia – MCT. O projeto visa à substituição parcial do diesel por meio da adição de álcool anidro, associada ao uso de aditivos estabilizadores.

Terminados os primeiros testes de laboratório e de campo, a presente dissertação pretende analisar a viabilidade da mistura álcool anidro / diesel /

aditivo AEP102 (MADA) em frotas cativas de ônibus urbanos da cidade e região metropolitana de Curitiba.

A partir de setembro de 2000, o IBAMA (Autorização especial nº 001/2000) e a ANP (Autorização nº 166, de 26 setembro de 2000) autorizaram a Prefeitura Municipal de Curitiba a utilizar experimentalmente o uso da MADA por um período de 365 dias, a contar daquela data.

1. 2 – Objetivos

O presente trabalho tem como objetivo geral analisar a viabilidade técnica e ambiental da MADA, proposta para ser usada como combustível nas frotas de ônibus urbanos na cidade e região metropolitana de Curitiba, como uma alternativa para reduzir o consumo de óleo diesel, as importações de petróleo e diesel, e as emissões de poluentes atmosféricos.

O estudo se baseia, em um primeiro momento, apenas na frota cativa de ônibus urbanos da região metropolitana de Curitiba.

Para atingir o objetivo geral, é necessário examinar os objetivos específicos, divididos nos seguintes itens:

- Breve revisão das fontes alternativas possíveis de serem utilizadas nos ônibus urbanos no Brasil.

- Analisar a problemática da poluição atmosférica nos centros urbanos de modo geral. Serão classificadas as principais fontes de poluentes atmosféricos quanto à sua origem e ao seu estado físico, os problemas gerados pela emissão de poluentes nos seres humanos e no meio ambiente.

- Análise da participação dos combustíveis na matriz energética brasileira. Será feita uma breve abordagem histórica da criação do Programa Nacional do Álcool e suas perspectivas para o futuro (flex-fuel, álcool-diesel). Serão levantados o consumo de derivados por tipo e segmento; apresentadas a estrutura de refino no Brasil e a participação do petróleo e dos seus derivados na balança comercial.

- Descrever a experiência internacional (Suécia e Estados Unidos) utilizando a MADA

- Apresentação e análise técnica da MADA no Brasil. Serão apresentadas os principais conceitos dos motores de combustão interna e do sistema de injeção para motores de ciclo Diesel, e a conceituação e descrição do programa de testes, com as respectivas entidades que os conduziram, com uma discussão crítica dos resultados dos testes, realizados em campo e em laboratório. Devido à falta de dados da MADA-8, cabe ressaltar que os testes de campo são baseados apenas na utilização da MADA-11,2.

- Estimativa das emissões de poluentes com possível uso da MADA.

- Estimativa da redução das importações de diesel, com o uso da MADA na frota de ônibus urbanos da cidade e Região Metropolitana de Curitiba.

- Conclusões e recomendações.

1.3 - Justificativa

Hoje, para o transporte urbano, uma das alternativas que se apresenta com condições de propiciar uma redução em escala no consumo e nas importações de petróleo e óleo diesel é a MADA. O uso desta mistura pode contribuir para reduzir o déficit da balança comercial do país, além de ajudar no desenvolvimento do setor agrícola uma vez que o aditivo¹ utilizado é derivado da soja. Esta é uma das alternativas que, como o gás natural e os óleos vegetais, podem propiciar uma redução expressiva no consumo de óleo diesel.

A substituição do óleo diesel pode proporcionar uma economia de divisas para o país, visto que as importações expressivas de óleo diesel e petróleo ocorridas nos últimos anos tiveram reflexos negativos na balança comercial brasileira. Somente no ano de 2002 o país teve um dispêndio monetário com as importações de óleo diesel da ordem de US\$ 1,0 bilhão [1].

Além disso, a redução no consumo de óleo diesel pode proporcionar uma melhoria ambiental imediata e amenizar um dos maiores problemas de saúde pública enfrentado principalmente nos grandes centros urbanos, que é a qualidade do ar atmosférico. Ao se adicionar o etanol ao diesel ocorre uma

¹ Este aditivo é derivado do óleo de soja, feito a partir de um éster, possuindo características altamente lubrificantes e elevado índice de cetano. O índice de cetano é um número que indica a capacidade que o combustível tem para iniciar a ignição, quando submetido a compressão.

melhor oxigenação, o que por si só diminui a formação de material particulado. O resultado dos ensaios realizados pelo Instituto de Tecnologia do Paraná - TECPAR, para determinar os níveis de fumaça emitidos pelos veículos que utilizaram a mistura, constataram uma redução 43% no índice de fumaça [6].

Do ponto de vista estratégico, uma eventual implantação da MADA será mais simples, e possível em um prazo menor do que as outras opções, como gás natural e biodiesel.

Embora o biodiesel já esteja sendo utilizado sem maiores problemas em alguns países da Europa, como França e Alemanha, o seu uso em frotas de ônibus, aqui no Brasil ainda requer estudos e testes, devido a diferenças na tecnologia dos motores e nas características do diesel brasileiro. Neste processo, o éster (biodiesel) deve ser separado da glicerina, após a reação com metanol ou etanol. No caso brasileiro, o etanol seria o ideal, visto que somos o maior produtor mundial, enquanto o metanol é importado.

No entanto, importantes estudos (Freedman, 1986, apud [7]) indicaram que o uso de metanol é tecnicamente mais viável do que o uso do etanol, pois este último retarda a reação. Embora o etanol anidro minimize esse inconveniente, ele não soluciona o problema da separação da glicerina do meio de reação que,

Portanto, quanto maior o número de cetano de um combustível menor será o atraso à inflamação, o que favorece as condições de funcionamento para os motores do ciclo Diesel.

no caso da síntese do éster metílico, pode ser facilmente obtida por simples decantação.

Por sua vez, a adoção do ônibus movido a gás natural já iniciada em algumas cidades envolve elevados investimentos para a realização de todas as etapas necessárias para seu pleno funcionamento, como as instalações de sistemas de distribuição. Outro agravante seria o uso desses veículos após sua vida útil nos grandes centros, pois os mesmos ficariam impossibilitados de trafegarem na maioria das cidades dos estados brasileiros, pois ainda não há redes de abastecimento e também nenhuma tecnologia para convertê-los para óleo diesel.

Já para o setor sucroalcooleiro, a utilização MADA poderá colaborar para um equilíbrio na situação de instabilidade do Proálcool. Este programa, como se sabe, proporciona um ganho ambiental, além de contribuir para a geração de empregos, pois mantém o homem do campo, e gera economia de divisas para o país.

Entretanto, a implementação de um programa desse tipo para frotas urbanas deve se apoiar numa garantia, a longo prazo, de oferta de álcool pelo setor. Por outro lado, há a possibilidade de que, na falta de álcool, o diesel puro possa vir a ser usado.

Capítulo 2 – Fontes alternativas utilizadas em ônibus urbanos

Neste item, é feita uma breve introdução de algumas fontes alternativas, mostrando suas diferenças, vantagens e desvantagens em relação ao sistema convencional.

2.1 Eletricidade

Os primeiros veículos movidos a eletricidade começaram a ser utilizados no transporte urbano, no final do século XIX na Alemanha. A utilização deste meio de transporte teve seu auge por volta de 1950. A partir daí, com o desenvolvimento da indústria automobilística e com o aumento da produção de petróleo, foi impulsionada a utilização do transporte individual e, conseqüente, ocorreu a marginalização do transporte de massa, sobretudo do trolebus[7].

No Brasil, São Paulo foi a primeira cidade a operar uma frota de ônibus urbanos movidos a eletricidade. A sua primeira linha foi inaugurada em 1949, mas somente ao final da década de 50 o Brasil começou a fabricar os seus próprios trolebus, inicialmente através da Trolebus Villares e, em seguida, pela Massari S/A e pela Companhia Municipal de Transportes Coletivos - CMTC, São Paulo [8].

Os veículos são alimentados por energia elétrica através de uma rede externa fornecida em corrente contínua pelas subestações retificadoras e distribuídas aos trolebus através de rede aérea.

Do ponto de vista ambiental, o trolebus é considerado um não emissor de gases poluentes, embora na geração de energia elétrica para o seu deslocamento possa ocorrer a emissão, quando a energia for gerada em usinas que utilizam gás natural ou outro combustível fóssil.

O trolebus tem elevada vida útil, e não há ocorrência de vibrações provocadas pelo motor de tração que fornece ao veículo a energia mecânica necessária para o seu deslocamento. Pode apresentar desempenho superior, em locais onde as vias de percurso são mais salientes, e devido ao sistema de tração elétrica, é extremamente silencioso e poupa o operador do veículo do esforço constante de mudança de marchas.

Entretanto, necessita de alto investimento em instalações de redes elétricas e subestações alimentadoras, O custo do veículo pode chegar a três vezes o custo de um veículo de tipo convencional, pois há necessidade de uma infraestrutura própria para sua operação, além de existir a necessidade de uma pavimentação regular das vias (sem ondulações) para que os coletores de corrente não escapem da rede aérea. Uma outra dificuldade é a de que uma interrupção no fornecimento de energia deixa os ônibus paralisados.

Os aspectos ambientais podem ser considerados como um dos fatores de maior relevância na discussão da viabilidade de implementação desta alternativa.

2.2 Biodiesel

O éster de óleos vegetais, também conhecido como biodiesel, é um produto derivado do óleo vegetal, podendo ser produzido a partir de diversas plantas oleoginosas, como girassol, dendê, e soja, dentre outras, sendo sempre proveniente de fontes renováveis. O seu uso está associado à substituição dos combustíveis fósseis utilizados em motores de ignição por compressão.

O processo químico utilizado para obtê-lo é denominado transesterificação. Através da reação química dos triglicérides presentes no óleo vegetal, quando em contato com metanol ou etanol, é produzido a partir do óleo vegetal.

Na Alemanha e Áustria, dezenas de postos de combustíveis já oferecem o biodiesel puro (não-diluído em óleo diesel) em suas bombas. Na França, várias cidades usam o biodiesel nas frotas de ônibus urbanos, como aditivo. O biodiesel utilizado é à base de óleo de colza, sendo misturado ao diesel em uma proporção que varia de 5% a 20%, em volume [9].

No final da década de 70, através do Programa de Óleos Vegetais [10], o governo brasileiro iniciou estudos para desenvolver combustíveis de óleos vegetais como alternativa para substituição do óleo diesel. Porém, passadas as crises do petróleo, o Proóleo, como era chamado, e outros projetos e pesquisas para desenvolvimento do chamado “diesel verde” foram perdendo espaço.

Os motores de ciclo Diesel podem utilizar biodiesel puro ou como aditivo, sem precisarem sofrer qualquer modificação. Porém, o biodiesel pode alterar as características do óleo lubrificante, aceleraram a formação de resíduos sólidos nos bicos injetores e na câmara de combustão, principalmente nos motores que utilizam bombas injetoras rotativas, quando não são otimizados para utilizar este tipo de combustível²[11], [12].

No ano de 1997, foram realizados testes com 20 ônibus na cidade de Curitiba. O biodiesel utilizado era composto de uma mistura de 80% de óleo diesel e 20% de óleo de soja transesterificado. Os resultados apresentados foram tecnicamente satisfatórios, com desempenho similar ao dos veículos a óleo diesel [13]. No entanto, o alto preço do combustível e a baixa demanda tornaram o projeto economicamente inviável.

2.3 Gás Natural

O gás natural vem sendo utilizado como combustível automotivo substituto da gasolina e do óleo diesel em diversos países, entre os quais podemos citar a Itália, Índia e Austrália. Os principais fatores de motivação para a utilização deste combustível são: disponibilidade do gás, aspectos políticos, ambientais, econômicos, entre outros.

O gás é composto basicamente (85 a 95%) de metano (CH_4), com pequenas frações de outros elementos, como etano (C_2H_6) e propano (C_3H_8). É um combustível fóssil, mas considerado de “queima limpa”, quando comparado com o óleo diesel; por apresentar menores emissões de SO_x e Material Particulado [17]. Entretanto, os índices de HC, e NO_x são superiores. O nível de ruído é sensivelmente menor, e as trocas de óleo lubrificante são mais longas, implicando em economia na manutenção do veículo.

No Brasil, somente após a década de 80 iniciaram-se testes com motores do ciclo Diesel, visando sua utilização em frotas de ônibus urbanos. No Brasil, apenas a Mercedes Benz fabrica ônibus movidos a gás natural, em escala comercial.

² Na Europa, já existem lubrificantes compatíveis com os óleos transesterificados.

As principais diferenças entre um ônibus³ movido a gás natural e um convencional, são o motor (ciclo Otto) e a inclusão dos cilindros de gás. Externamente, os dois são semelhantes, pois os cilindros são acomodados sob o piso do veículo.

A necessidade de altos investimentos em estações de abastecimento, na rede de distribuição e o maior custo do veículo, quando comparado com um convencional, vem dificultando a implementação do uso de gás natural para uso veicular nas cidades brasileiras. Um problema que ainda permanece sem solução é diz respeito à venda destes veículos após terem sido utilizados pelas empresas, pois não existem ainda redes de distribuição de gás natural nas pequenas e médias cidades do país, inviabilizando o seu abastecimento.

Existem, hoje, mais de 350 ônibus movidos a gás natural, circulando por algumas das capitais brasileiras, sendo que mais de 70% de toda esta frota está concentrada nas cidades de São Paulo e Rio de Janeiro [7].

2.4 Hidrogênio

A energia é produzida através de células de combustível, que transformam energia química em elétrica. As células de combustível são bastantes similares

³ Necessita de uma infra-estrutura própria de abastecimento.

às baterias convencionais, compostas de dois eletrodos, um positivo e outro negativo. Permite utilizar uma diversidade de combustíveis tais como hidrogênio, metanol, gás natural, e etanol [14].

Para o Brasil, o etanol seria o combustível mais indicado do ponto de vista estratégico. No entanto, a tecnologia da célula de combustível necessita ainda ser melhor desenvolvida para o emprego do etanol.

Tabela 1 - Tipos de Células de Combustível

Tipos de Células	Temp. de operação (°C)	Aplicações	Fabricantes
Ácido Fosfórico (PAFCS)	200	Fábricas, Edifícios, hospitais e veículos	Onsi
Membrana Polimérica (PEMFC)	80	Veículos, Residências, Geradores	A vista Labs, Ballard Power Systems, Plug Power
Carbono Fundido	650	Estações de geração	Energy Research, Fuel Cell Energy
Óxido Sólido	1000	Estações de geração	Global Thermoelectric, Siemens, Westinghouse Power

Fonte: DOE, 1999

As diferentes células de combustível são geralmente classificadas de acordo com o eletrólito. Para fins automotivos, podemos destacar as células de ácido fosfórico (PAFC)⁴ e as células de membrana polimérica (PEMFC)⁵.

⁴ Estas células são as mais desenvolvidas comercialmente.

⁵ Trabalham com temperaturas relativamente baixas, são as mais promissoras para serem utilizadas em automóveis por ser mais eficientes, e de fácil acionamento e desligamento. Atualmente, o fator determinante para sua entrada no mercado é o seu custo.

As tentativas de produzir automóveis movidos a células de combustível ocorrem desde a década de 60. Entretanto, somente no final dos anos 80 é que houve um avanço nas pesquisas, com a participação dos fabricantes de automóveis. No início dos anos 90, técnicos da Universidade de Georgetown construíram o primeiro ônibus – protótipo, utilizado no transporte urbano, movido a células de combustível usando células do tipo PAFC. Porém, a empresa Ballard, de origem canadense, demonstrou que células do tipo PEMFC, movidas a hidrogênio, eram mais eficientes para serem utilizadas em aplicação automotiva [14].

A Ballard Automotive, Daimler-Chrysler e Ecostar (Ford), atualmente desenvolvem com sucesso células de 275HP, de potência elétrica para ser utilizada em ônibus. Há notícias de que no mundo existam 9 protótipos rodando com células de combustível, sendo que 6 estão em Chicago e Illinois, nos Estados Unidos, e mais 3 em Vancouver, no Canadá. Existem ainda projetos em andamento no Brasil, Itália, Áustria além da Alemanha [15], [16].

No Brasil, desde meados da década de 70, alguns centros de pesquisas vêm desenvolvendo trabalhos com células de combustível, entre os quais podemos destacar o Laboratório de Hidrogênio (Centro de Referência em Hidrogênio) da Unicamp, o Instituto de Pesquisa Tecnológica de São Paulo - IPT, o Grupo de Eletroquímica do Instituto de Química de São Carlos, da Universidade de São Paulo - IQUSC - USP, a Coordenação de Programas de Pós-Graduação em

Engenharia da Universidade do Rio de Janeiro – COPPE/UFRJ e o CENBIO/USP.

No final de 1998, iniciou-se no IPEN/CENEN-SP um projeto institucional, de caráter acadêmico e tecnológico, com células de combustível PEMFC, em parceria com a Universidade Técnica de Darmstadt, Alemanha. O objetivo inicial do grupo de estudos é utilizar o etanol como combustível, pois além de ser um combustível líquido e fácil de obter, é também de baixo custo. No entanto, existem muitos desafios para obtenção de uma eficiência significativa utilizando o etanol como combustível, pois é preciso operar a célula com temperaturas mais elevadas o que exige novos materiais [14].

No ano de 1994 foi iniciado o projeto *Environmental Strategy for Energy: Hydrogen Fuel Cell Buses for Brazil* - ESSE/HB, implementado pelo Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica, do Ministério de Minas e Energia - MME, com recursos do *Global Environmental Facility* (GEF), liberados por meio do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento - PNUD [15].

Este projeto está previsto para ser desenvolvido em quatro etapas, tendo concluído até o presente instante a etapa - I, na qual foram realizadas as seguintes atividades:

- estado atual da tecnologia e requisitos para comercialização dos ônibus

- estimativa do potencial de produção e demanda de hidrogênio
- definição do projeto de demonstração da etapa - II

Na etapa - II, pretende-se colocar em experiência, na cidade de São Paulo, 8 ônibus movidos a célula de combustível, por um período cujo tempo de duração será de 4 anos, empregando recursos no valor de US\$ 24 milhões, dos quais US\$ 14 milhões são provenientes do *Global Environmental Facility* (GEF) [15].

Dificuldades: a produção do hidrogênio, para alimentar a célula de combustível, a partir da eletrólise da água, necessita de uma fonte de energia secundária. Existe ainda o problema de armazenagem do hidrogênio que deve ser estocado em baixas temperaturas (próximos de -273°C). Um vazamento, derramamento ou faísca, poderia provocar graves acidentes [17].

Devido às emissões de poluentes serem desprezíveis, à manutenção reduzida e à flexibilidade quanto ao uso de combustível, as células de combustível aparecem como a alternativa com maior potencial para substituir os motores de combustão interna. No entanto, devido à sua baixa autonomia, à necessidade de uma infra-estrutura própria e, principalmente, ao seu elevado custo, as células de combustível ainda estão longe de competir com a tecnologia já em uso (o custo do ônibus protótipo movido por células de combustível, é de US\$ 1,5 a 2 milhões) [15].

2.5 Álcool

O uso de álcool como combustível para veículos pesados não é uma experiência muito recente. Em 1930, a Chrysler produziu caminhões com motores ciclo Otto movidos a álcool para Nova Zelândia, e a International Harvester, para as Filipinas.

Em 1997, a Scania trouxe da Suécia dois ônibus, ciclo Otto, movidos por uma mistura de 93% de álcool hidratado e 7% de aditivo, para uma demonstração, por um período de dois meses nas cidades de Curitiba e São Paulo. Os resultados apresentados não foram satisfatórios, pois não houveram ganhos significativos quanto a emissão de poluentes, além de apresentarem falhas de dirigibilidade, desempenho e aumento de consumo [18].

No Brasil apesar de inúmeras experiências com motores ciclo Otto, ao longo dos anos 70 e 80, para uso em ônibus e caminhões, o álcool é conhecido como um combustível apenas para veículos leves, e como aditivo da gasolina, ambos em motores do ciclo Otto. Porém, muito pouco foi realizado para a utilização de álcool em motores do ciclo Diesel, até então.

2.6 Álcool - Diesel

Em maio de 1997, o Ministério da Ciência e Tecnologia - MCT foi incumbido pelo Comitê Interministerial do Açúcar e do Álcool - CIMA, de coordenar o Grupo Técnico - II (GT-II) para avaliar possibilidade técnica da utilização álcool no diesel, sem o uso de aditivos estabilizadores.

O CIMA, através da Resolução n.º 11, de 02 de março de 1999, solicitou à Agência Nacional de Petróleo - ANP o estabelecimento dos procedimentos necessários para a realização dos testes de campo com a MAD-3, para ser utilizado em uma frota piloto na cidade de Curitiba [18].

A partir de janeiro de 2000, foram iniciados na cidade de Curitiba os testes, com uma frota de 10 ônibus Volvo B58, com ano de fabricação 1990/91, sendo 5 alimentados com a MAD3⁶ e os outros 5 movidos a diesel (veículo testemunha). Cada veículo percorreu uma distância média de 36.000km, não sofrendo nenhuma alteração para uso da MAD3.

Conforme relatórios, durante o período de avaliação, os resultados apresentados foram tecnicamente satisfatórios. Os veículos mantiveram operação normal sem interrupção extraordinária que pudesse ser atribuída ao

⁶ Mistura de 3% de álcool anidro com 97% óleo diesel

uso da MAD-3. Houve redução nas emissões de Material Participado, porém constatou-se um aumento no consumo de combustível da ordem de 2,6% [18].

Os testes avaliaram a funcionalidade da mistura, conforme metodologia padronizada pelo Instituto de Tecnologia do Paraná - TECPAR e pela Urbanização de Curitiba - URBS. Segundo o Relatório “Viabilidade Técnica da Mistura Álcool / Diesel - Sumário Executivo da Mistura 3% de Álcool ao diesel (MAD-3)” [18], o seu uso comercial no mercado nacional de combustíveis poderia ser introduzido para frotas cativas se considerados os seguintes aspectos:

- estabelecimento de procedimentos operacionais rotineiros de preparação, transporte e manuseio da mistura, bem como acompanhamento da sua qualidade.
- utilização de filtros de combustíveis e elastômeros resistentes à ação do álcool.
- acompanhamento detalhado dos registros de consumo de combustível, opacidade, consumo, desempenho e dirigibilidade do veículo e registros de manutenção dos sistemas de fornecimento e injeção de combustível, com atenção para sinais de cavitação nas válvulas de pressão e corrosão nos bicos de injeção [18].

Entretanto, deve ser observado que o uso da MAD-3 limita-se apenas às bombas em linha visto que os ensaios de durabilidade com bombas rotativas (BOSCH) foram interrompidos devido à ocorrência de desgaste prematuro em seus elementos vitais, além de que o óleo diesel de caráter parafínico disponível em algumas regiões do país não favorece a estabilidade da mistura sem o uso de aditivos estabilizadores [18].

Foram verificados em alguns veículos vários problemas que podem colocar em risco a funcionalidade do sistema, entre as quais destacam-se a deformação plástica do material dos copos do filtro separador de combustível, sinais de corrosão nos tubos de alta pressão e vazamento nos bicos injetores.

Os resultados ambientais foram positivos, porém os testes apontaram problemas técnicos. Desta forma fica claro que os resultados são insuficientes para recomendar o uso da MAD-3, para comercialização e uso em frota cativa. Estes motivos acabaram motivando o início das experiências com misturas álcool / diesel aditivadas, como analisado em capítulos seguintes.

Capítulo – 3 Poluição atmosférica e a participação dos veículos automotores

A participação veicular na emissão das diversas fontes de poluentes, varia de acordo com os fluxos desenvolvidos em cada região urbana. Ao se analisar o problema da poluição atmosférica nas regiões onde se concentram as áreas comerciais e residenciais que formam grande parte dos centros urbanos, a contribuição dos veículos, em geral, chega a valores muito próximos de 100% do total das emissões verificadas.

3.1 A influência do combustível e do tipo de motor nas emissões veiculares

Os veículos a gasolina têm a característica de emitir uma maior quantidade de monóxido de carbono (CO) e hidrocarbonetos (HC) quando comparados aos veículos diesel. Já as emissões de óxidos de enxofre (SO_x), óxidos de nitrogênio (NO_x) e de material particulado (MP) são predominantes nos motores diesel .

O álcool emite uma quantidade maior de aldeídos quando comparado com outros combustíveis; entretanto estes aldeídos (acetaldeídos) têm menor

impacto ambiental do que os emitidos por motores que utilizam gasolina (formaldeídos).

As emissões nos motores com ignição por faísca podem ser de dois tipos:

- a) emissões pelo cano de escape, através dos gases gerados na combustão.
- b) emissões evaporativas, através da evaporação de hidrocarbonetos do tanque de combustível e do cárter do motor.

3.1.1 Emissões de escape dos veículos a gasolina e álcool

As emissões de hidrocarbonetos com os gases de escape são intensas durante os primeiros segundos após a ignição do motor. Os óxidos de nitrogênio, monóxido de carbono, os hidrocarbonetos, óxidos de enxofre e os aldeídos fazem parte do grupo de poluentes mais sérios. Os demais gases, quando comparados aos anteriores, podem até não serem considerados poluentes, embora exista grande preocupação quanto ao aumento da quantidade de gás carbônico na atmosfera e o seu possível efeito sobre as condições climáticas do planeta.

O monóxido de carbono e os hidrocarbonetos são encontrados nos gases de exaustão, como resultado da combustão incompleta ocorrida no interior da câmara de combustão, ou como parcela residual de combustível transformado em outros compostos orgânicos devido às condições internas do motor, e, no caso dos carros a álcool, os aldeídos. Contudo, as condições elevadas de temperatura e pressão existentes na câmara de combustão favorecem a oxidação do nitrogênio do ar de combustão, de tal modo que possibilitam a formação de óxidos de nitrogênio pelo motor.

O grande marco na utilização do álcool etílico como combustível veicular, foi promover uma redução significativa na emissão de alguns poluentes. Esta redução se verificou com maior intensidade nas emissões de CO e HC. Quando comparado com a gasolina, no entanto, há um aumento na emissão de aldeídos. No entanto, nos veículos modernos não há diferença nas emissões de CO e HC de veículos a álcool ou gasolina.

3.1.2 Emissões por evaporação

As perdas por evaporação no tanque de combustível podem ocorrer durante a movimentação do veículo devido ao aquecimento do combustível, por vazamentos durante o abastecimento nos postos e imediatamente depois de desligado o motor.

Os fatores condicionantes deste processo são a volatilidade do combustível, a temperatura ambiente e a área da superfície líquida no tanque. As perdas no tanque de combustível podem representar cerca de 15% do total das emissões de hidrocarbonetos de um veículo sem dispositivos de controle [7]. Segundo Lora, essas emissões podem ser controladas através de recipientes de carvão vegetal que absorvem os vapores de gasolina, onde os mesmos são enviados ao motor para sua combustão [19].

As emissões originadas no cárter, nos motores de ignição por centelha, são resultantes do processo de escape de gases, através das vedações do cilindro durante o ciclo de compressão do motor. O ar necessário à ventilação, penetra pela tampa do filtro de óleo, ajudando a reduzir a formação de umidade e aliviando a pressão no interior do cárter [7]. No entanto, as emissões pelo sistema de ventilação do cárter foram eliminadas com o canister.

3.1.3 Emissão por motores de ciclo Diesel

Pode-se considerar que toda a emissão de poluentes nos veículos movidos a diesel está restrito ao sistema de exaustão dos gases de escape. Em relação às perdas por evaporação, podemos considerá-las insignificantes, pois o diesel é pouco volátil, característica esta favorável quando comparados aos combustíveis utilizados nos motores de ignição por centelha.

Os particulados constituem o poluente de maior relevância nas emissões dos motores diesel. Os níveis de HC, CO, SO_x ocorrem em concentrações inferiores aos verificados nos motores de ignição por centelha. As elevadas condições de temperatura e pressão com que trabalham os motores no processo da combustão, favorecem a formação dos óxidos de nitrogênio em maior proporção do que no motor a gasolina.

No que diz respeito às emissões de material particulado este é muito superior nos motores diesel. Conforme apresentado anteriormente, os veículos movidos a gasolina emitem maior quantidade de CO e HC quando comparado aos veículos diesel. Por outro lado no motor diesel, predominam as emissões de óxidos de enxofre, óxidos de nitrogênio e material particulado.

O controle das emissões dos gases de escape, como o monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos (HC), óxidos de nitrogênio (NO_x) e material particulado (MP), teve o seu início somente após o ano de 1993 com a publicação da Resolução CONAMA nº 08/93, que introduziu os limites para os veículos pesados no Brasil, denominada de Fase III (EURO I) [20].

É importante ressaltar que a qualidade dos combustíveis também é responsável pela maior ou menor quantidade de gases poluentes emitidos pelo escapamento dos motores. No Brasil, atualmente, o teor de enxofre no diesel está entre 0.3% e 0.5% , em peso, desde de 1º de Janeiro de 1992 [21].

3.2 Fatores de emissão

Dadas as características do motor e do combustível utilizado, os veículos terão emissões diferenciadas. Nos veículos usados, o desgaste das peças e dos componentes contribui de maneira significativa para o aumento destas emissões.

Uma das formas de se estimar a emissão de um veículo usado é a aplicação ao valor de emissão do veículo novo, de um coeficiente denominado fator de deterioração (F.D), que é obtido ensaiando-se o veículo de acordo com a norma vigente ao longo de sua vida útil.

Tabela.2 - Limite Máximo de Emissão de Poluentes para Veículos Leves

Poluentes	Limites	Implantação
CO (g/km)	2,0	01.01.1998
HC (g/km)	0,3	
NOx (g/km)	0,6	
MP (g/km)*	0,05	

Fonte: [38]

* exceto para veículos com motores do ciclo Otto.

Para os veículos do ciclo Diesel, o PROCONVE fixou o limite da emissão de fuligem pelo escapamento, utilizando uma metodologia aplicada na Europa (

Treze Pontos). O teste consiste, basicamente, na medição dos gases de escape, em treze condições de operação do motor.

A resolução CONAMA n.10 de 14/09/89 estabeleceu limites para a emissão de gases de escapamento, conforme apresentados na tabela abaixo.

Tabela.3 - Limite Máximo de Emissão de Poluentes para Veículos Pesados

Poluentes	Implantação 1996	Implantação 2000¹
CO (g/kWh)	4,9	4,0
HC (g/kWh)	1,23	1,1
NOx (g/kWh)	9,0	7,0
MP (g/kWh)²	0,7 / 0,4³	0,25

Fonte: [38]

1- Para ônibus urbanos foi antecipada para 01.01.1998.

2- Aplicável somente para motores de Ciclo Diesel.

3- 0,7 g/kWh, para motores até 85kW e 0,4 g/kWh para motores com mais de 85 kW.

No entanto, existem vários outros fatores que podem influenciar as emissões veiculares, entre os quais podemos destacar: composição química do combustível, tecnologia de alimentação do motor, velocidade de tráfego, regulagem e manutenção do veículo, vida útil do motor e características do sistema de tráfego local.

Apesar dos esforços da ANP no monitoramento da qualidade do combustível, no Brasil, há ainda uma grande quantidade de combustível adulterado sendo comercializado de forma irregular nos postos de combustível, causando um

grande prejuízo para proprietários de veículos. Esses aditivos (solventes), quando são adicionados aos combustíveis além de diminuir a vida útil do motor contribuem para o aumento do consumo e das emissões.

3.3 Os danos causados pela poluição à saúde humana

Os efeitos causados nos seres humanos dependem da composição da quantidade de poluentes , e do tempo de exposição , bem como do estado de saúde e do nível de atividade física da pessoa exposta. Alguns poluentes, quando ingeridos, provocam uma maior sensibilidade no sistema respiratório, dores de cabeça, náuseas, irritação nos olhos, nariz e garganta.

As altas concentrações de poluentes registradas em cidades como São Paulo, estão relacionadas com o índice de mortalidade infantil, e com como o aumento de pacientes com problemas respiratórios.

3.3.1 Monóxido de Carbono (CO)

É um poluente altamente tóxico, quando inalado pelos seres humanos. Quando o composto reage com a hemoglobina do sangue, resulta em uma substância denominada carboxihemoglobina, que tem a capacidade de diminuir

a oxigenação dos tecidos pelo sangue. A afinidade da hemoglobina pelo CO, é 210 vezes maior que pelo O₂ [22].

O monóxido de carbono é um gás inodoro e sem coloração, formado a partir da queima parcial do combustível na câmara de combustão. É o principal, e o mais conhecido, dos poluentes emitidos na combustão pelos veículos leves. O álcool contribui de forma decisiva na redução da sua emissão, mesmo quando adicionado à gasolina.

3.3.2 Hidrocarbonetos (HC)

São gases e vapores de odor característico, gerados a partir da combustão incompleta. Os hidrocarbonetos se apresentam em diversas formas e compreendem uma mistura de aproximadamente 100 compostos. São irritantes aos olhos, nariz, pele e ao sistema respiratório.

3.3.3 Óxidos de Nitrogênio(NO_x)

Os óxidos de nitrogênio são formados durante a combustão, onde o nitrogênio presente (no combustível ou no ar) é oxidado devido à alta temperatura de trabalho. Em geral, são conhecidos por NO_x sendo os mais comuns o dióxido de nitrogênio (NO₂) e o óxido nítrico (NO). O NO, devido à sua alta reatividade, se converte em NO₂. O dióxido de nitrogênio se transforma

em ácido nítrico quando em contato com a água (chuvas ácidas). É um grande causador de irritações nos olhos, nariz, garganta e pulmão [22].

3.3.4 Óxidos de Enxofre (SO_x)

São gases altamente irritantes, e solúveis, portanto, de fácil absorção pelo sistema respiratório. O enxofre é um componente natural do petróleo, e o SO_x é resultante da queima de combustíveis que possuem a presença de enxofre, como o diesel e a gasolina. Ao se adicionar o álcool na gasolina, diminui-se a emissão dos óxidos de enxofre, visto que no álcool não há presença de enxofre.

Os óxidos de enxofre são representados basicamente pelo dióxido de enxofre (SO₂). Este, ao combina-se com a água e com o oxigênio do ar, transforma-se em ácido sulfúrico (chuvas ácidas) provocando danos às vias respiratórias, bem como inflamações graves da mucosa e redução do movimento ciliar [22].

3.3.5 Material Particulado (MP)

Resulta da queima incompleta de combustíveis. É formado por partículas microscópicas, compostas de carbono, hidrocarbonetos não queimados, sulfatos e traços de outros elementos, como metais, e água. Quando em

3.3.8 Aldeídos

São gases sem coloração, causam irritação nos olhos, garganta e nariz. O álcool combustível é o grande emissor de aldeídos quando comparado com outros combustíveis. Eles são formados no processo de combustão, resultante da queima de combustível parcialmente oxidados, seja no caso de uso de gasolina, álcool, diesel ou misturas de combustíveis.

3.4 O controle da poluição veicular

Os altos índices de poluição atmosférica, registrados nas grande capitais brasileiras, em especial São Paulo, levaram os governos de São Paulo e federal, à criar um programa de controle de poluição do ar, através de exigências a serem cumpridas pelos fabricantes de veículos e de motores.

A partir da elaboração desse projeto e após várias discussões, surgiu o programa brasileiro de controle de poluição veicular, constituído pelo PROCONVE – Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores, instituído pela Resolução CONAMA n.18 de 06 de maio de 1986. Alguns dos principais objetivos a serem atingidos seriam: reduzir os níveis de emissão veicular, em especial nos centros urbanos, e criar programas de inspeção e manutenção para veículos já em uso.

Capítulo - 4 O Proálcool e os derivados de petróleo na matriz energética brasileira

4.1 O Programa Nacional do Álcool - Proálcool

O Brasil instituiu o Programa Nacional do Álcool - Proálcool, em 1975. No entanto, para se entender os motivos que levaram o Governo Federal a criar o programa, é necessário que se conheça a expansão que vinha ocorrendo no setor sucroalcooleiro e as dificuldades para colocar o açúcar no mercado internacional, além, é claro, das crises do petróleo de 1973 e 1979.

Durante a década de 60, o Governo estimulou a expansão do plantio de cana na esperança de aumentar as exportações de açúcar, pois havia uma forte tendência de mudança no nível da produção no cenário mundial, em vista das relações comerciais cortadas entre Cuba⁷ e Estados Unidos. Com este novo cenário, os demais países produtores teriam possibilidades de ocupar este mercado.

Nos primeiros cinco anos da década de 60, já se registrava um aumento de 40% na produção. Enquanto a produção aumentava, o preço do açúcar diminuía no mercado internacional. Como o setor já havia iniciado os

⁷ O maior exportador de açúcar para os EUA.

investimentos e para não perder a cana já plantada, optou-se por aumentar o volume de produção de álcool.

No início dos anos 70, o consumo interno de açúcar já não podia absorver o aumento da produção. O setor sucroalcooleiro contava somente com a possibilidade de um crescimento das exportações para absorver o excedente da produção. Por outro lado, havia a questão do elevado preço do petróleo no mercado internacional, capaz de viabilizar a produção de álcool para substituir a gasolina.

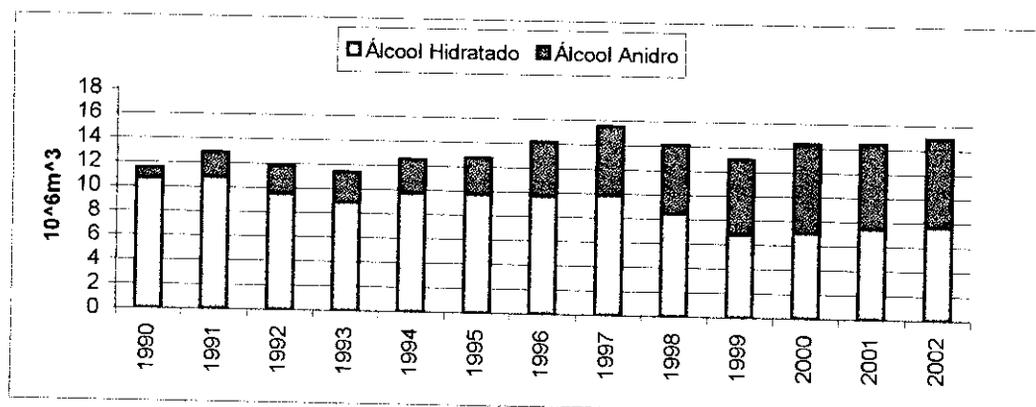
O Brasil importava 80% do petróleo que consumia e, com a alta de preços entre 1973 e 1974, teve de enfrentar uma significativa elevação nas importações. Inicialmente, o álcool foi usado como mistura na gasolina (além de matéria-prima para a indústria química). Em outubro de 1975, Presidente Geisel, em um discurso proferido ao povo brasileiro, informava que seria criado o Programa Nacional do Álcool - Proálcool. Entretanto, foi somente no final da década de 70, com a 2ª crise do petróleo que o álcool passou a ser usado, puro, como combustível (álcool hidratado) para os motores de combustão interna adaptados.

4.1.1 Situação atual e perspectivas para o futuro do programa

No final da década de 80, o Proálcool passou por uma de suas maiores crises, desde a sua implantação. Diante de elevados preços no mercado internacional, os produtores passaram a priorizar a produção de açúcar, o que acabou gerando uma crise nacional no abastecimento de álcool em 1989/90.

A crise foi contornada pela intervenção do Governo, ao introduzir o uso da mistura MEG (33% de metanol, 60% de etanol e 7% de gasolina), e pelas importações de metanol e etanol. Contudo, a credibilidade do programa perante os consumidores e a opinião pública, foi duramente afetada. Desde então, a procura por automóveis a álcool foi decrescendo e, conseqüentemente, a produção destes veículos pelas montadoras. No entanto, nos últimos 3 anos o mercado vem tendo uma nova recuperação.

Gráfico.1 Produção de Álcool 1990-2002

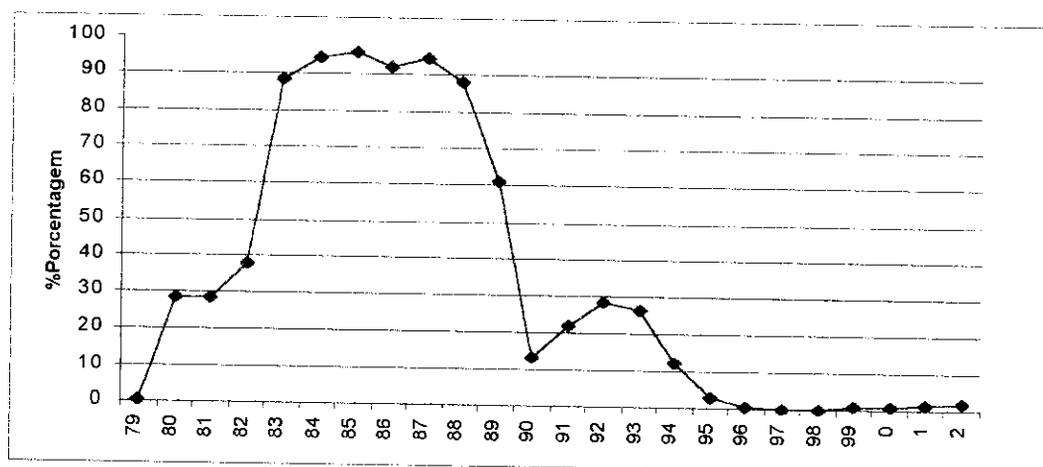


Fonte: ANP, 2002

Observa-se que o álcool anidro tem apresentado uma tendência de crescimento, pelo fato de ter havido um crescimento no consumo da gasolina.

A produção de veículos a álcool hidratado teve seu início em 1979. O seu período hegemônico foi entre os anos de 1983 e 1989, quando chegou a ocupar por alguns anos, mais de 90% do mercado nacional de veículos leves. Após a crise no abastecimento, em 1989, as vendas declinaram atingindo os pontos mais baixos no período de 1997 a 1999. No entanto, com as elevações no preço do barril de petróleo, bem como os constantes aumentos nos preços dos derivados, as vendas desses veículos vêm apresentando uma ligeira recuperação de mercado quando comparado com os anos anteriores.

Gráfico.2 Vendas de Veículos a Álcool



Fonte: Anfavea, 2002

Um fator que acabou contribuindo para esses baixos índices foi a indisponibilidade do veículo a álcool no momento da compra, pois o consumidor não tinha como efetuar o pedido junto à concessionária.

Diante das incertezas que ainda pairam sobre o futuro do programa, uma das alternativas que poderiam colaborar para resolver o problema do Proálcool seriam a criação de novos mercados. Neste contexto, o surgimento de novas tecnologias como o flex-fuel e a MADA, se viabilizada tecnicamente e ambientalmente, pode colaborar para um aumento do consumo de álcool.

A tecnologia denominada *flex-fuel* tem despertado interesse por parte do setor automobilístico no Brasil. O *flex-fuel* foi desenvolvido nos Estados Unidos⁸ no final dos anos 80, a partir da criação de leis que estimulavam o desenvolvimento de novas tecnologias, que possibilitassem o uso de misturas álcool-gasolina, limitando-as à um volume de 85% de álcool⁹ [24].

Sua utilização é baseada no reconhecimento do teor de álcool adicionado na gasolina. Através de um sensor de oxigênio (sonda Lambda), posicionado no escapamento, onde o sistema realiza de forma automática, a auto-adaptação de todas as funções de gerenciamento do motor, como,

⁸ Estima-se que somente nos Estados Unidos hoje já existam mais de 1,5 milhão automóveis que possuem o sistema Flex – Fuel, dos quais 80 mil usam álcool.

⁹ Limitou-se à 85% o teor de álcool na gasolina para garantir a partida do motor, devido as baixas temperaturas em grande parte das regiões dos USA.

injeção, ignição, regulagem de detonação e controle da mistura ar / combustível, para qualquer proporção álcool / gasolina. Além da taxa de compressão, é utilizado um comando de válvulas diferenciado e um sistema de ignição sem distribuidor [25].

Com a comercialização de veículos a álcool praticamente estagnada, em 1994, a Bosch¹⁰ foi a primeira empresa no Brasil a apresentar junto às montadoras, estudos a respeito do uso dessa tecnologia para o objetivo de substituir os veículos exclusivamente a álcool por veículos *flex-fuel*. No entanto, as montadoras não mostraram muito entusiasmo, alegando necessitarem de incentivos fiscais, além do tempo para desenvolvimento do novo projeto.

No entanto, com a nova taxa de IPI para os veículos, a partir de agosto de 2002, os veículos *flex-fuel* passariam a ter mesma cotação de impostos dos veículos a álcool. Esta definição, e o interesse por parte de alguns países como a Índia, China e Austrália pelo uso do álcool como combustível, reacendeu o interesse de algumas montadoras em discutir a viabilidade de produzir veículos com o uso dessa tecnologia.

¹⁰ No início de 2000 outra importante empresa do setor automobilístico, Magneti Marelli, anunciou dispor dessa tecnologia.

A Volkswagen e a Ford anunciaram, em dezembro último, o lançamento para o mercado interno, de veículos equipados com essa tecnologia, já para meados deste ano.

O mercado internacional seria uma outra alternativa bastante interessante, pois, com a introdução do álcool como combustível na matriz energética por parte de alguns países do primeiro mundo, novos mercados seriam criados e o Brasil, na condição de maior produtor, poderia atender as demandas em condições competitivas no mercado mundial.

Entretanto, as barreiras protecionistas impostas por esses países fazem com que o Brasil tenha uma participação pouco significativa no cenário mundial. A título de ilustração, somente os Estados Unidos possuem uma frota de veículos superior a 100 milhões com uma demanda de gasolina estimada em 4,3 milhões de barris/dia. Admitindo uma mistura de 10% de álcool, seriam necessários $6,8 \times 10^7$ litros/dia de álcool [26].

Para que essa situação viesse a ocorrer, haveria necessidade de que o governo brasileiro, através do Ministério das Relações Exteriores, negociasse, junto a estes países, a abertura de suas fronteiras, para que o açúcar e o álcool brasileiro tivessem condições de competir. Por outro lado, é imprescindível e fundamental a garantia de fornecimento de álcool pelo setor sucroalcooleiro, ao mercado nacional.

4.2 Petróleo e seus derivados

O petróleo dá origem a vários derivados para uso diversificado. O seu uso pode ser para fim energéticos como combustíveis para transporte, indústria, não-energéticos como solventes, plásticos, lubrificantes etc. No entanto, a maior parte do volume de derivados é destinada ao uso energético.

Tabela.4 - Principais Derivados de Petróleo

	Derivado	Principal Uso
Combustíveis	Óleo Diesel	Combustível Automotivo
	Gasolina	Combustível Automotivo
	Óleo Combustível	Industrial, Geração de Energia
	GLP	Cocção
	Querosene de Aviação	Combustível Aeronáutico
Outros	Óleos Lubrificantes	Lubrificação de máquinas e motores
	Asfalto	Pavimentação
Insumos	Parafina	Velas, Indústria alimentícia
	Nafta	Uso petroquímica
	Propeno	Matéria-Prima p/ Fáb. De Plástico

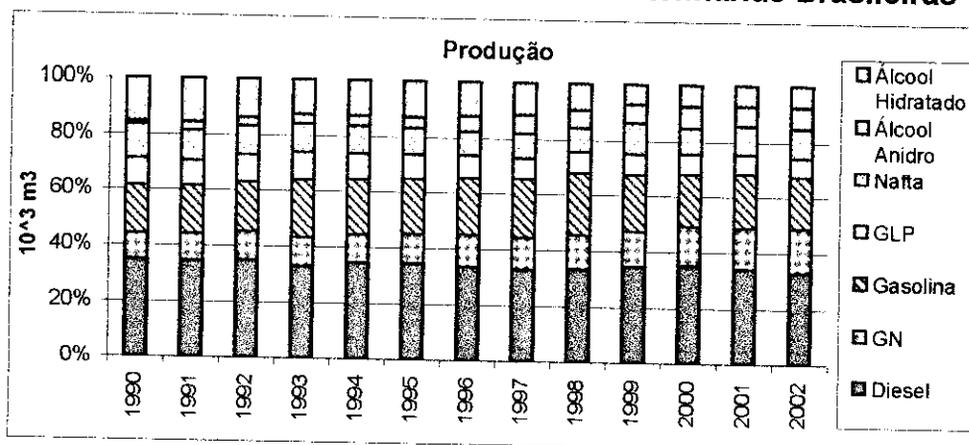
Fonte:[2]

4.2.1 Estrutura de refino

De modo geral, as refinarias trabalham de forma a atender às necessidades de consumo de cada país. No Brasil, elas estão direcionadas para extrair a máxima quantidade de óleo diesel de um barril. Entretanto, as possibilidades de atender à demanda de consumo de cada derivado estão limitadas aos aspectos técnicos e econômicos que determinam quais e quantos

são os derivados que podem ser obtidos de cada barril de petróleo. Hoje, a capacidade de refino no Brasil é aproximadamente 1,90 milhão de barris/dia [1].

Gráfico.3 - Volume de Derivados nas Refinarias Brasileiras



Fonte:[1]

4.2.2 Consumo de derivados e setores consumidores

Ao longo dos anos, o consumo dos principais derivados de petróleo está sujeito a constante movimento de expansão e retração, dependendo da taxa de crescimento industrial e dos fatores econômicos envolvidos.

A partir de meados da década de 50 até 66, com o crescimento da indústria de refino no Brasil, houve uma predominância do consumo de óleo combustível, o que é justificado pelo crescimento industrial verificado no período. A partir daí, com o início do desenvolvimento da indústria automobilística, constatou-se um aumento da demanda por gasolina.

Na metade da década de 70, em decorrência de uma política mais restritiva para o consumo de gasolina, e em consequência da elevação do preço do barril de petróleo no mercado internacional e da comercialização dos caminhões leves e meio pesados a diesel, o consumo da gasolina no país passou a declinar, tornando-se cada vez maior a dependência por óleo diesel. A redução no consumo da gasolina também se deve à desaceleração da indústria automobilística e ao aumento significativo da mistura álcool-gasolina, após 1976.

Ao longo dos anos 80, devido aos excedentes de gasolina e ao programa do álcool, o Brasil esteve atuante no mercado internacional, como exportador de gasolina. Após o ano de 94, o país passou a ser apenas um exportador marginal [27]. No entanto, este quadro pode voltar a apresentar crescimento em um futuro próximo, principalmente se houver a introdução de políticas para redução do seu consumo.

Durante a década de 80, o Brasil chegou a apresentar um pequeno superávit em relação ao óleo diesel. A partir dos anos 90, tais superávites foram substituídos por déficits crescentes, até hoje. Atualmente, o diesel ainda representa o principal item na matriz energética brasileira de importações de produtos derivados.

Para o gás liquefeito de petróleo - GLP, o cenário não é muito diferente. A partir dos anos 80, foi o derivado consumido que apresentou maiores taxas de crescimento. A migração das pessoas que viviam em áreas rurais para os centros urbanos, o incentivo do governo à expansão de seu uso, em substituição à lenha, no interior do país e o uso de forma indevida por parte de algumas indústrias e automóveis, foram os principais fatores desse crescimento.

O país tem apresentado consumo crescente de GLP. Este cenário deverá permanecer nos próximos anos pois, com o declínio do consumo residencial de lenha, a demanda por GLP tende a aumentar. Entretanto, em algumas regiões do país onde há acesso ao gás natural, este poderá vir a substituir GLP em alguns de seus mercados.

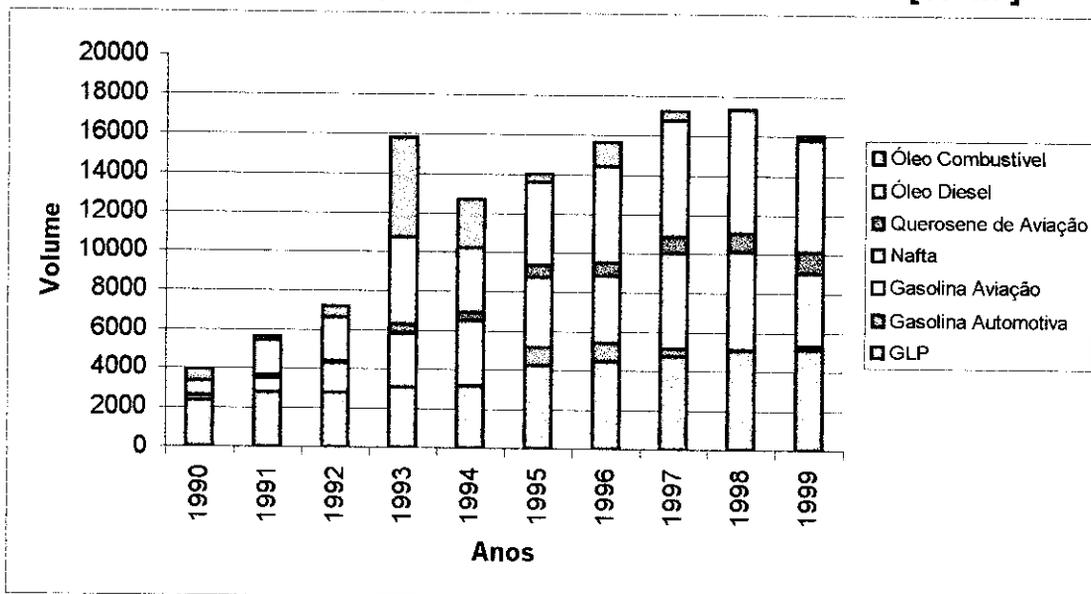
4.2.3 Energéticos importados

A demanda energética brasileira foi coberta, até o final da década de 70, por energéticos importados. A implementação de programas para reduzir a dependência externa de petróleo, como o Proálcool, o aumento do preço do petróleo no mercado internacional e o início do desaquecimento da economia brasileira, reduziram as importações deste produto e dos seus derivados.

Com a relativa estabilidade nos preços do petróleo em 1996, as importações voltaram a crescer, chegando, em 1998, à uma dependência externa de 40,3%. Entretanto, no ano de 2002, os preços do petróleo no mercado internacional voltaram a crescer, ultrapassando a cotação de 30 dólares o barril. Mesmo com o aumento da produção interna, no ano de 2002, a taxa de dependência externa ficou acima de 25% [1].

O gráfico abaixo mostra o grau de dependência de energéticos importados, durante a última década.

Gráfico.4 - Importação de Derivados de Petróleo [10^3 m^3]

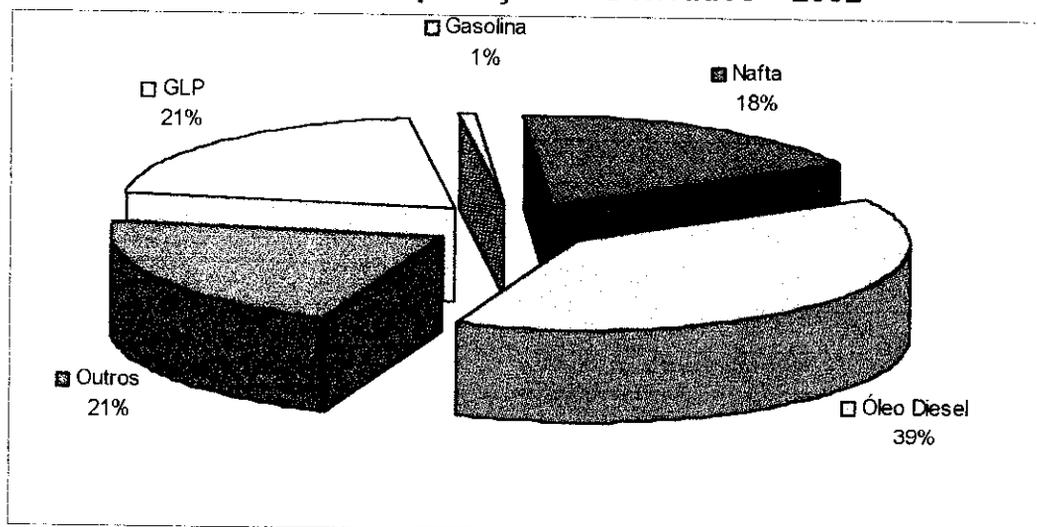


Fonte: ANP, 2000

4.3 Participação do petróleo e derivados na balança comercial

Conforme o Anuário Estatístico da ANP, no ano 2002, o Brasil importou aproximadamente 145,3 milhões de barris, quantidade esta 14,2% inferior à importada durante o ano de 2001. Porém com a alta do preço do petróleo no mercado internacional, houve um acréscimo de 50% no dispêndio com as importações de óleo bruto, totalizando cerca de US\$ 5,3 bilhões em 2002 [1]. O preço médio do barril importado pelo Brasil sofreu um acréscimo de 76%, passando de US\$ 16,90/barril, em 1999, para US\$ 28,00 US\$/barril em 2002.

Apesar da produção crescente de petróleo no Brasil, ainda permanece a dependência externa de derivados, tendo em vista o consumo cada vez mais elevado. Conforme mostrou o gráfico-4, as importações de óleo diesel praticamente foram multiplicadas por dez no período de 1990 a 99. Segundo dados da ANP, durante o ano de 2000, o óleo diesel e o gás liquefeito de petróleo – GLP, foram os derivados importados em maior quantidade, respectivamente, 37% e 31% do total importado, conforme gráfico abaixo.

Gráfico.5 Importação de Derivados – 2002

Fonte: ANP, 2002

Em termos econômicos, a importação expressiva de diesel e de GLP tem reflexos importantes na balança comercial brasileira. No entanto observa-se que houve uma redução de 18% no volume das importações de derivados no último ano de 2002.

5 - Análise técnica das misturas álcool/diesel/aditivo (MADA)

5.1 Introdução

Neste capítulo será apresentada a conceituação dos motores de combustão interna e dos sistemas de injeção dos motores ciclo Diesel. Também será descrita a experiência da Suécia e Estados Unidos com misturas aditivadas, e a retomada do programa brasileiro seguido da discussão dos testes.

5.2 Resumo das características dos motores de combustão interna

Inicialmente, será feito um breve histórico sobre os pioneiros do desenvolvimento de alguns motores de combustão interna.

O motor de ignição por centelha, conhecido também como de ignição por faísca, é baseado no princípio de funcionamento feito por Beau de Rochas em 1862. No entanto, a verdadeira aplicação prática somente veio com o engenheiro alemão Nicolas August Otto, em 1876, ao construir o primeiro motor de grande velocidade de regime, que levou seu nome (Otto).

O motor de ignição por compressão, conhecido também como de ignição espontânea, foi desenvolvido inicialmente pelo alemão Rudolph Diesel, em 1892. O combustível utilizado em seus experimentos foi o óleo de amendoim.

Somente após o início do século XX, com a era do petróleo, o combustível utilizado passou a ser um derivado do petróleo denominado de gasoil, no Brasil sendo utilizado com o nome de óleo diesel.

Os motores veiculares podem ser classificados em duas categorias: os motores de ignição por centelha (ciclo Otto) e os motores de combustão por compressão (ciclo Diesel). Embora os motores de ignição por centelha e os de ignição por compressão tenham pontos em comum, há diferenças fundamentais entre as quais podemos destacar:

a) Sistema de injeção de combustível: nos motores do ciclo Otto, a mistura ar / combustível é introduzida no interior da câmara de combustão, previamente dosada por um carburador ou por um sistema de injeção eletrônica.

Os motores do ciclo Diesel admitem apenas ar, sendo o combustível introduzido diretamente na câmara de combustão através de bombas injetoras. Hoje já estão disponíveis no mercado motores com sistema de injeção com comando eletrônico.

b) Ignição: motores do ciclo Otto requerem um sistema de ignição, o qual produz uma centelha dentro da câmara para iniciar a combustão. Os motores de ciclo Diesel utilizam condições de elevada pressão e temperatura,

produzidas pela compressão do ar no cilindro, para iniciar a combustão quando o combustível é injetado.

c) Taxa de compressão - Os valores da taxa de compressão para os motores do ciclo Otto variam de 5 a 12 e para os motores do ciclo Diesel de 12 a 24. O limite superior da razão de compressão para motores de ignição por centelha é estabelecido principalmente pela característica anti-detonante dos atuais combustíveis. Para o motor de ciclo Diesel, o limite superior é fixado principalmente pelo peso da estrutura do motor, que cresce rapidamente com o aumento da taxa de compressão.

5.2.1 Bombas injetoras

Os processos de combustão no motor diesel dependem da quantidade e da forma como o combustível é transportado para o bico injetor através do tubo de pressão e injetado na câmara de combustão. Para isto, as bombas injetoras necessitam trabalhar com precisão.

Atualmente estão disponíveis no mercado bombas injetoras em linha e rotativas, cada uma delas apresenta suas particularidades, o que permite a escolha do tipo adequado para cada condição. Antes de se adaptar qualquer desses sistemas a um dado motor, é necessário estudar as características de

um sistema de injeção, tendo em vista a rotação nominal, potência e formato construtivo dos motores diesel [28].

No Brasil, estima-se que a frota nacional de veículos a diesel, até 1999 é aproximadamente 2.230.000 unidades (veículos comerciais leves, caminhões, ônibus e microônibus), sendo que 35% dessa frota são veículos comerciais leves (vans, picapes e caminhões leves) que usam bombas rotativas [18].

5.2.1.1 Bombas rotativas

As bombas rotativas são utilizadas em motores de 3 a 6 cilindros de ciclo diesel e aplicadas em automóveis de passeio, tratores, utilitários, caminhões leves e motores estacionários, com potência acima de 20kW por cilindro [29].

São dimensionadas de acordo com a rotação nominal, potência e formato construtivo dos motores. São extremamente compactas, possuem um regulador mecânico¹¹ de rotação ou eletrônico com avanço de injeção integrado. Elas possuem apenas um pistão dosador para alimentar todos os cilindros do motor, onde este transporta o combustível com um movimento e o distribui por movimentos giratórios simultâneos para as diversas saídas.

¹¹ Nos veículos de passeio e utilitários, as regulagens mecânicas vêm sendo progressivamente substituídas pela regulagem eletrônica

As bombas rotativas torna-se frágeis quando se utilizam combustíveis de baixa lubricidade [29].

5.2.1.2 Bombas em linha

As bombas em linha são utilizadas em motores para utilitários pesados, ônibus, rebocadores, locomotivas e navios, entre outros, com potência de até 1.000 kW/cilindro [30].

A bomba em linha trabalha com altas pressões, transportando por meio de dutos independentes, o combustível até o bico injetor, pelo qual entra na câmara de combustão. No momento oportuno, o sistema de injeção permite a entrada do combustível no cilindro através do seu pulverizador. A pressão de injeção é produzida independentemente da rotação do motor e do volume de débito.[31]

As bombas em linha podem ser adequadas para utilizar metanol e etanol, desde que tomada algumas medidas de precaução, tais como: inserção de juntas especiais, proteção especial das superfícies em contato com o álcool, emprego de molas de aço inoxidável e o uso de lubrificantes especiais para evitar possíveis contaminações [31].

5.3 Experiência internacional sobre a viabilidade técnica da MADA

O uso da mistura álcool¹² / diesel vem sendo pesquisado desde os anos 70 por diversos países como, Brasil, EUA, Austrália, África do Sul, Suécia e Alemanha. Segundo a Tecpar [6], o Centro de Pesquisas da Volkswagen alemã, em 1984, e o Instituto Militar de Engenharia no Brasil, em 1995, realizaram testes bem-sucedidos mostrando que esse combustível poderia ser utilizado em motores do ciclo Diesel [6]. No entanto, até o momento, a montadora Alemã não iniciou o desenvolvimento de um novo produto para o uso do combustível, nem ocorreu a continuidade dos estudos por parte do instituto brasileiro.

Sugiyama, em 1980[32], estudou a possibilidade do uso de soluções de diesel e etanol anidro, verificando a possibilidade da solubilidade em quaisquer proporções e efetuando ensaios em ampla faixa de variação dessas soluções.

Moses, em 1980[33], estudou a viabilidade com microemulsões de etanol e com soluções de etanol anidro em óleo diesel com percentuais de até 40% em volume.

Fujisawa e Yokota, em 1981[34], desenvolveram um sistema de alimentação em que apenas o óleo diesel passa pela bomba injetora, enquanto o álcool passa pelos tubos de alta pressão através de válvulas, durante a ocorrência de

depressão simultânea na linha onde leva o combustível para a câmara de combustão, sendo o álcool empregado em percentuais de até 40%.

Os resultados dos testes indicam problemas de desgaste prematuro do sistema de injeção e instabilidade da mistura [32], [33], [34]. Observa-se que as dificuldades apresentadas nesses trabalhos são bastante semelhantes ao caso brasileiro.

5.3.1 Suécia

Atualmente, a Suécia possui uma frota circulante composta por mais de 300 ônibus que utilizam o álcool como combustível. No entanto, os motores têm concepção diferente dos utilizados na frota brasileira, pois o desenvolvimento é feito a partir de motores ciclo Otto. A bomba injetora sofreu modificações na composição química do material das válvulas e bicos, a despeito de o bloco e os cilindros serem absolutamente iguais ao do diesel. Já nos pistões, houve uma modificação no dimensionamento para que ocorresse uma maior compressão, de forma a que não houvesse necessidade de pré – aquecimento, comum aos primeiros carros a álcool desenvolvidos no Brasil [35].

A tabela abaixo apresenta o cenário do mercado de etanol como combustível na Suécia.

¹² A adição de álcool anidro ao óleo diesel já vem sendo testada desde 1976

Tabela 5 - Mercado do Álcool Combustível na Suécia

Motores	Mistura de Combustível
Motores modificados	ETAMAX-D (puro etanol substituindo o óleo diesel)
Motores normais diesel	ETAMIX-D (emulsão de 15% de álcool no diesel)
Motores Flexível E85	ETAMAX-B (motores com até 85% de etanol ou até 100% de gasolina)

Fonte: [36]

Como o país já percebe os benefícios que o álcool combustível pode trazer, o governo sueco vem realizando testes com o uso do álcool no diesel desde meados da década de 90. Estudos feitos pela empresa responsável pelo transporte público da região metropolitana de Estocolmo demonstraram que as emissões de material particulado oriundas de ônibus movidos com 15% de álcool aditivado e 85% de diesel reduziram-se em até 73%. [36].

Existe hoje na Suécia uma frota piloto de 15 ônibus trafegando com a mistura álcool / diesel / aditivo. Os motores utilizados são semelhantes aos da frota brasileira, ou seja, ciclo Diesel sem modificação no sistema de injeção e combustão.

O álcool consumido é importado da Espanha e Alemanha, e o aditivo denominado Bio-7 é fabricado na Inglaterra. Embora os custos do combustível sejam mais elevados do que no Brasil, na Suécia a população dá grande importância a questões sociais e ambientais, não sendo, portanto, as questões

econômicas, necessariamente, as que nortearão a decisão do governo em utilizá-lo.

Entretanto, a falta de informações em relação ao desempenho dos motores, sistema de injeção e estabilidade do combustível não se permite avaliar se o combustível tem condições de ser implementado em uso comercial.

5.3.2 Estados Unidos

Nos Estados Unidos, existe um programa piloto, recém criado, bastante similar ao brasileiro, composto por uma frota de 10 ônibus que utiliza de 5 a 15% de álcool aditivado¹³ no diesel. Os testes estão sendo realizados no Estado de Illinois. Os motores são semelhantes aos da frota brasileira, ou seja, ciclo Diesel sem modificação no sistema de injeção e combustão [24].

Quanto às reduções na emissão de poluentes, os resultados são bastante semelhantes aos testes realizados na cidade de Curitiba.

Segundo informações da União da Agroindústria Canavieira de São Paulo - UNICA, a empresa americana AAE-Octel já tem disponível uma formulação pronta para ser comercializada em frota cativa nos EUA.

Finalmente, a China e a Tailândia também têm manifestado interesse em desenvolver programas com objetivo de avaliar o uso da mistura álcool aditivado e diesel para uso em frotas de ônibus. O Centro Nacional de Tecnologia da Tailândia, em parceria com a Agência Tailandesa de Petróleo e a Ford, está iniciando um programa de pesquisas com mistura álcool aditivado e diesel [24].

5.4 O programa brasileiro da MADA

Apesar de o interesse pela MADA ter surgido no início dos anos 70, somente em 1997, por ocasião do seminário organizado por produtores de álcool na Câmara dos Deputados, junto à comissão de Minas e Energia, é que o interesse pelo uso dessa mistura foi colocado em discussão com mais ênfase. Esse seminário objetivou mostrar aos parlamentares as alternativas que se poderiam buscar para viabilizar a estabilidade do programa do álcool naquele momento.

Foram apresentadas algumas experiências realizadas em outros países, e uma das alternativas que chamou a atenção foi a da Suécia, onde já ocorria a mistura álcool / diesel. Naquele momento, nasceu um projeto com base na proposta apresentada pela UNICA - União da Agroindústria Canavieira de São

¹³ O álcool utilizado é proveniente do milho e o aditivo da soja.

Paulo de misturar álcool no diesel. Essa proposta levou o Governo, via Ministério de Ciência e Tecnologia, a montar um programa de testes, designando um grupo chamado GTII - Grupo Técnico II para desenvolver o Programa de Teste de Viabilidade Técnica da Mistura Álcool / Diesel. Esse grupo passou a integrar o Comitê Executivo do CIMA - Conselho Interministerial do Açúcar e do Álcool, dividindo suas atividades em dois projetos, um coordenado pela UNICA e o outro pela ALCOPAR - Associação dos Produtores de Álcool e Açúcar do Paraná.

A proposta da UNICA visava utilizar misturas contendo de 3 a 10% de álcool hidratado, enquanto o projeto proposto pela ALCOPAR era de misturas contendo 8 e 12% de álcool anidro com o uso de aditivos estabilizadores.

No entanto, concluiu-se que, em concentrações com 3% de álcool anidro sem o uso de aditivos estabilizadores e lubrificantes, o combustível torna-se inadequado ao uso por ser sensível às contaminações com água e causar desgaste prematuro nos bicos, roletes e válvula das bombas.

Várias instituições foram envolvidas no projeto da ALCOPAR, como o Governo do Estado do Paraná, a Secretaria do Meio Ambiente do Município de Curitiba, Empresa de Transporte Coletivo, TECPAR - Instituto de Tecnologia do Paraná, URBS - Urbanização de Curitiba, Sindicato das Empresas de Transporte de Passageiros no Estado do Paraná.

Alguns especialistas consideram que a retomada do programa nas circunstâncias apresentadas ocorreu movido por motivos políticos decorrentes dos interesses do setor sucro-alcóoleiro, pois haveria a necessidade de reduzir os seus estoques de álcool. Na verdade, estabeleceu-se uma situação de incerteza, pois a confiabilidade dos testes não foi assegurada por não ter havido um envolvimento dos fabricantes e fornecedores de autopeças nos mesmos.

5.4.1 Conceituação dos testes

O projeto proposto pela ALCOPAR dividiu-se em três etapas principais.

- desenvolvimento e qualificação da MADA¹⁴, que teve por objetivo determinar a melhor proporção em volume de álcool, diesel e aditivo a ser empregado, promovendo uma avaliação da estabilidade.
- desempenho e emissões, nas quais o objetivo foi avaliar a variação destes fatores em laboratório, para um motor com o uso da MADA, e tomando como base os valores observados com o uso do mesmo óleo diesel utilizado na mistura, sem alteração nos parâmetros de regulação do motor.

- demonstraco em campo, para verificar, na prática, se a MADA  operacional, se há ganhos ambientais quanto às emissões de fumaça e coleta de dados operacionais de consumo e emissões da mistura.

5.4.2 Descrio da mistura

A MADA , do ponto de vista físico – químico, uma soluço homogênea com características visuais muito semelhantes ao óleo diesel puro.  formada pelo fenmeno da co-solvência, ou seja, a interao entre óleo diesel e álcool  proporcionada e mantida pelo aditivo [6].

O leo diesel utilizado nos testes  o metropolitano tipo-C com teor de enxofre 0,3%, número de cetano 42. O lcool  o etílico anidro carburante (AEAC) cujo teor alcoólico mínimo  de 99,3%, conforme portaria DNC n.º 23 de 29/10/91.

O aditivo, denominado comercialmente de AEP - 102,  obtido por um processo de transformao química a partir de um éster de óleo de soja.  um produto biodegradável de soluço homogênea e colorao levemente mais clara do que o óleo diesel. Apresenta características ambientais favoráveis, tem

¹⁴ Mistura lcool/diesel/aditivo AEP-102

efeito positivo no balanço global das emissões atmosféricas, possui características de lubrificação [6].

5.4.3 Função do aditivo na formação do combustível

Em todas as pesquisas realizadas no Brasil, com teores acima de 3% de álcool, as conclusões convergiram para a necessidade de acrescentar aditivos. Esses aditivos devem conter propriedades que mantenham a homogeneidade da mistura, melhorem o índice de cetano e uma lubricidade capaz de evitar desgaste prematuro no sistema de injeção.

No período de 1998 a 1999, a UNICA realizou uma série de testes com alguns aditivos estabilizadores. O aditivo DALCO, fabricado pela australiana APACE, fornecido pela empresa canadense Methanex¹⁵, é um composto químico industrial que requer a preparação da mistura na forma de emulsão, o que muda a aparência do combustível tornando-o esbranquiçado. Foi testado em proporções de 1 e 2% com teores de 7 a 15% de álcool hidratado. Apesar de ter apresentado bons resultados nos testes de laboratório, o seu uso foi abandonado por apresentar problemas nos bicos injetores do combustível causados pela formação de “borras”, observados nos testes de campo realizados com 4 ônibus em São Paulo¹⁶.

¹⁵ A Methanex é de um grupo multinacional e um dos maiores produtores de metanol do mundo

¹⁶ Swarc A. (UNICA). Comunicação pessoal.

O aditivo denominado BIO-7 é produzido na Inglaterra e não altera o aspecto original do combustível ele é um composto químico que atua como co-solvente, ou seja, a interação entre o álcool e óleo diesel é mantida pela ação do aditivo. Foi utilizado em teste de funcionalidade em 2 ônibus na cidade de Piracicaba com misturas de 7% álcool anidro / 91% diesel / 2% BIO-7. Nos testes de campo os resultados indicaram perda de desempenho, fato percebido pelos motoristas que recorriam ao uso de marcha mais reduzida do que com combustível original¹⁷.

O aditivo AEP-102 foi desenvolvido pelo pesquisador brasileiro Alfredo R. Campi, que já havia desenvolvido testes com esse produto, desde 1970. No ano de 1998, a ALCOPAR retomou os testes com o AEP-102, cujos resultados serão apresentados no decorrer do trabalho.

Hoje a empresa Ecológica Mato Grosso Indústria e Comércio Ltda – Ecomat¹⁸, com sede no Distrito Industrial de Cuiabá – MT, detém desde de 1998 o direito de comercializar o AEP-102. No entanto, a patente do AEP-102 está a venda por US\$ 40 milhões e, e parece ter havido interesses por parte de alguns países em adquiri-la, como Argentina, Paraguai, Japão e Polônia [37].

¹⁷ Swarc A. (UNICA). Comunicação pessoal.

¹⁸ A empresa paga *royalties* de nove centavos por litro do aditivo ao inventor.

5.4.4 Preparação e estabilidade da mistura

Segundo relatório o relatório técnico [6], a preparação da MADA não necessita qualquer inovação tecnológica para efeito de mistura ou homogeneização, podendo ser adotado o mesmo processo em que é usado para a mistura de álcool (AEAC) a gasolina. Pelo princípio descrito, o aditivo pode ser adicionado ao álcool, na própria usina onde foi produzido ou mesmo na distribuidora para se juntar ao óleo diesel¹⁹ [6].

Quanto ao manuseio e segurança, parece não haver registros de incidentes ou acidentes envolvendo a mistura, sejam ambientais ou toxicológicos. Havendo uma eventual liberação acidental da mistura no meio ambiente, os impactos ocasionados deverão ser equivalentes aos esperados em situações semelhantes com o próprio óleo diesel [6].

Tabela.6 - Caracterização Físico-Química da MADA

Característica	Óleo Diesel	MADA	
	C	11,2%	8,0%
Água e sedimentos (%v/v)	0,02	0,08	-
Enxofre (g/110g max.)	0,26	0,20	0,06
Ponto de fulgor (°C)	38 ^o C	27 ^o C	16 ^o C
Resíduo de carbono (max.)	0,18	0,15	-
Poder calorífico (MJ/kg)	44,4	41,2	42,3
Densidade 20 ^o C	0,834	0,831	0,834

Fonte:[6]

¹⁹ A mistura é muito simples em função da alta homogeneidade existente entre os produtos envolvidos

Conforme portaria ANP n.310/01, a especificação do ponto de fulgor para o óleo diesel deve ser no mínimo 38°C; contudo o valor determinado para a MADA foi bem à baixo. Ao contrário do que afirma o relatório Tecpar [6], isso traz problemas com a armazenagem, transporte e manuseio do combustível aumentando ainda mais o risco de acidentes [38].

A separação de fases é indicada pela turvação, que por sua vez depende da temperatura, umidade e das proporções dos elementos envolvidos. Como o álcool anidro é uma substância higroscópica, quando em contato com o ar ambiente, absorve água, podendo levar à separação das fases. No entanto, o uso de aditivos estabilizadores, como o AEP-102 pode manter a homogeneidade mesmo em presença de água [6].

A seguir, a tabela mostra os resultados de campo da MADA-11,2 nas condições reais de estocagem.

Tabela.7 - Acompanhamento de Batelada

Estocagem (dias)	Teor de Água (%)*	Teor de Etanol (%)*	Umidade Relativa do Ar (%)	Temperatura Atmosf. Média (°C)
0	0,01	11	91	15
22	0,09	12		
36	0,09	12		
70	0,14	11		

Fonte: [6]

* Incerteza média de +/- 1,1%

A mistura testada em Curitiba teve acompanhamento por um tempo de 70 dias, passando pelo período de inverno quando se registraram temperaturas inferiores a 5 °C [6]. Entretanto, nota-se ausência de procedimento específico para coleta das amostras de forma avaliar superfície, meio e fundo da batelada bem como um maior número de amostragem.

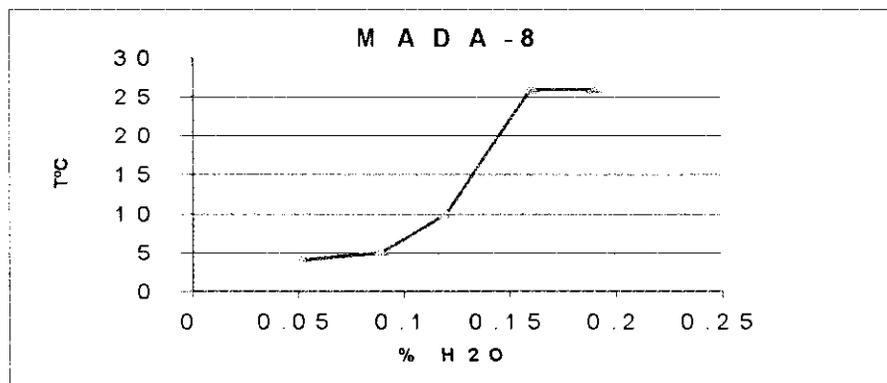
Conforme os dados da tabela 6, a MADA-11,2 apresentou teores de água muito acima do permitido pela portaria ANP 310/01, que estabelece os parâmetros físicos-químicos para comercialização do óleo diesel em todo território nacional. Considerando que 0,05% de água seja uma contaminação limite aceitável na estocagem do óleo diesel, e que o tempo médio de permanência do combustível em tanque de armazenagem seja de 15 dias, conclui-se que a mistura não atende às condições recomendada pela legislação.

Segundo o relatório técnico [6], as condições nas quais foram realizados os testes com a MADA - 11,2 favorecem a separação de fase, pois misturas com maiores porcentagens de álcool deverão propiciar a separação de fases por terem proporcionalmente menos aditivo disponível para solubilizar a água. Sendo assim, para uma maior confiabilidade, o teor de álcool anidro foi redefinido para 8,0%. Porém a falta de um parecer técnico que justifique reduzir o teor de álcool de 11,2% para 8,0% configura uma forma inadequada de

conclusão técnica, o que demonstra a necessidade de realizar testes para verificar a disponibilidade ideal.

Estudos de solubilidade e estabilidade realizados no Laboratório de Controle de Qualidade da Faculdade de Farmácia da UFMG visaram determinar em que condições a MADA - 8 é homogênea.

Gráfico.6 Solubilidade MADA-8



Fonte: [6]

Os teores de água apresentados no gráfico acima indicam que a mistura pode ser instável na condição ambiente, que é a condição de estocagem. Quanto maior a umidade do ar e/ou variação de temperatura, maior será a quantidade de água condensada. Portanto, não há justificativas claras para otimizar a mistura em 8% o teor de álcool.

5.4.5 Demonstração de campo

A etapa de demonstração em campo começou com a MADA - 11,2 no início de fevereiro de 1998 até julho de 1999, utilizando os veículos da empresa Transporte Coletivo Glória Ltda. Em seguida, a partir de agosto 2000, até maio de 2002²⁰, utilizou-se a MADA - 8 nas empresas Auto Viação Nossa Senhora da Luz, Auto Viação Marechal Ltda.

Por não se dispor de maiores dados, cabe ressaltar que os resultados de campo apresentados neste trabalho são baseados apenas na utilização da MADA - 11,2. No entanto, não há informação técnica suficiente nos relatórios divulgados com as frotas que utilizaram MADA-8, o que impede uma análise mais apurada.

A Empresa de Transporte Glória Ltda, de Curitiba, manteve quatro veículos Mercedes Benz modelo OF 1620, com motor OM 366 LA versão EURO I, sendo dois operando com a MADA - 11,2 (BA 066 e BC 146)²¹, e outros dois (BA 061 e BC 143) como referência movidos exclusivamente a óleo diesel metropolitano para comparação dos resultados dos testes [6].

²⁰ Ao longo dos anos o programa passou por diversas paralisações

²¹ Identificação da empresa

Apenas os sistema de injeção dos veículos que operam com MADA-11,2 foram protocolados e avaliados pela Bosch. Os demais sistemas dos veículos testemunha sofreram manutenção normal, segundo o plano de manutenção da empresa [6].

Tabela.8 - Acompanhamento da Frota Experimental

Fevereiro de 1998 a Maio de 1999				
		Mistura		Mistura
Parâmetros Avaliados	BA 061	BA 066²²	BC 143	BC 146
Totais de km percorridos	98.295	107.413	115.032	125.129
Consumo combustível (L)	38.894,8	39.911,8	41.834,9	44.231,2
Consumo específico (km/L)	2,515	2,684	2,733	2,822
Dias trabalhados por mês	28	29	29	29
Percurso por viagem (km)	14,3	19,06	17,5	19,84
Número de viagem	19	13	16	14
Passageiros por viagem	31	38	31	37
Aumento médio consumo (%)	4,72			

Fonte: [6]

5.4.5.1 Resultados da demonstração

Segundo relatório técnico [6], não houve a necessidade de qualquer intervenção extraordinária durante a operação. Os elementos filtrantes do filtro de óleo lubrificante, de combustível, e de ar não apresentaram alteração

²² BA 061, BC 146 etc, são os números identificadores dos veículos em testes

funcional e foram trocados somente nos períodos predeterminados pelo plano de manutenção [6].

A partida se manteve normal, sem alterações do tempo de ignição, não apresentando perda de aceleração e potência nas retomadas [6].

Entretanto, os testes indicaram um aumento de 4,72% no consumo de combustível, pois a inclusão do álcool no óleo diesel diminui o potencial energético do combustível. No entanto, é importante observar que este aumento de consumo se dá pelo fato do poder calorífico da MADA - 11,2 ser inferior ao óleo diesel. Os testes dinamométricos confirmam a perda de potência e aumento no consumo.

5.4.5.2 Durabilidade do sistema de injeção – resultados de campo

Os testes de desgaste e durabilidade do sistema de injeção foram realizados segundo a metodologia BOSCH para um ciclo de 100.000 km. No início dos testes de campo, os sistemas de injeção dos dois veículos teste, (BA 066 e BC 146), embora não tenham sido substituídos por novos, foram avaliados e protocolados pela Bosch para que ao final da rodagem determinada com o uso exclusivo da MADA - 11,2 fossem avaliados quanto à sua função e à ação do combustível sobre seus componentes [6].

Ao final dos 100.000 km com o uso exclusivo da mistura, os conjuntos, bombas e bicos injetores foram submetidos ao ensaio de funcionalidade em bancada pela BOSCH, cujos resultados observados são destacados abaixo:

- Em decorrência da baixa lubricidade do combustível, no veículo BA 066, a bomba injetora teve seus elementos, válvulas e porta válvulas substituídos por peças novas. Já no veículo BC 146, houve necessidade de substituir apenas duas válvulas na bomba injetora[6].
- Os elementos de filtro secundário operaram regularmente, contudo apresentaram deslocamento das tampas dos elementos filtrantes, sem apresentar problemas operacionais [6]. Devido à ação do álcool sobre a cola, os elementos filtrantes do filtro de óleo combustível sofreram deslocamento de sua tampa metálica; propôs-se que o problema seja resolvido com a substituição da cola por uma mais resistente a ação do álcool.
- Não foram observados degradação dos anéis de vedação, nem corrosão em qualquer parte metálica; os injetores apresentaram pressões de abertura e características de pulverização normais e compatíveis com os valores protocolados; as duas unidades de bomba injetora apresentaram débitos e regulagens de rotação similares aos

valores protocolados²³; os bicos injetores apresentaram início de desgaste atribuído ao fenômeno da cavitação, porém a função manteve-se em ordem não prejudicando o desempenho do motor [6].

Embora os ônibus tenham mantido sua funcionalidade, já foi possível observar que danos nos componentes internos, certamente, reduziram a vida útil do sistema de injeção.

5.4.6 Testes de durabilidade do sistema de injeção em laboratório

Ao final do período de avaliação em campo, a Bosch realizou ensaios em bancada de provas com dois sistemas de mesma característica que os testados nos veículos, submetidos ao ciclo de 1000 horas²⁴ a plena carga e rotação nominal. Esses ensaios foram realizados de forma a seguir todos os requisitos para uma avaliação criteriosa, fornecendo resultados com um grau de confiança muito maior.

O combustível não sofre combustão e seu volume retorna integralmente ao tanque de combustível da bancada. Entretanto observa-se que, durante os testes, em nenhum momento foi quantificado o teor de álcool presente no

²³ Os desvios notados no débito de partida de um dos elementos e a pequena variação da curva de resposta do mecanismo centrífugo de controle de corte do débito de rotação máxima, foram considerados normais e aceitáveis com base nos padrões Bosch para o diesel.

²⁴ O ciclo de 1000 horas são equivalentes a 250.000 Km em campo

combustível. Os problemas aqui verificados se assemelham àqueles constatado em campo. As irregularidades se concentraram no desgaste dos bicos injetores, válvulas de pressão, roletes e pino de pressão, porém sem comprometer a funcionalidade do sistema [6]. Assim, em termos de bancada, pode-se considerar que o sistema manteve a sua funcionalidade.

As irregularidades relatadas nos componentes foram atribuídas à baixa lubrificação e ao processo da cavitação. Sendo assim, parece que o aditivo AEP-102 é incapaz de suprir a deficiência causada pelo álcool; na presença do álcool contribui ainda mais para o processo da cavitação. As irregularidades verificadas quanto à falta de lubrificação não devem ser atribuídas somente ao uso do combustível, pelo fato de tal ação se estender a componentes que não sofrem contato direto com o combustível, como no caso dos “comes”. [6].

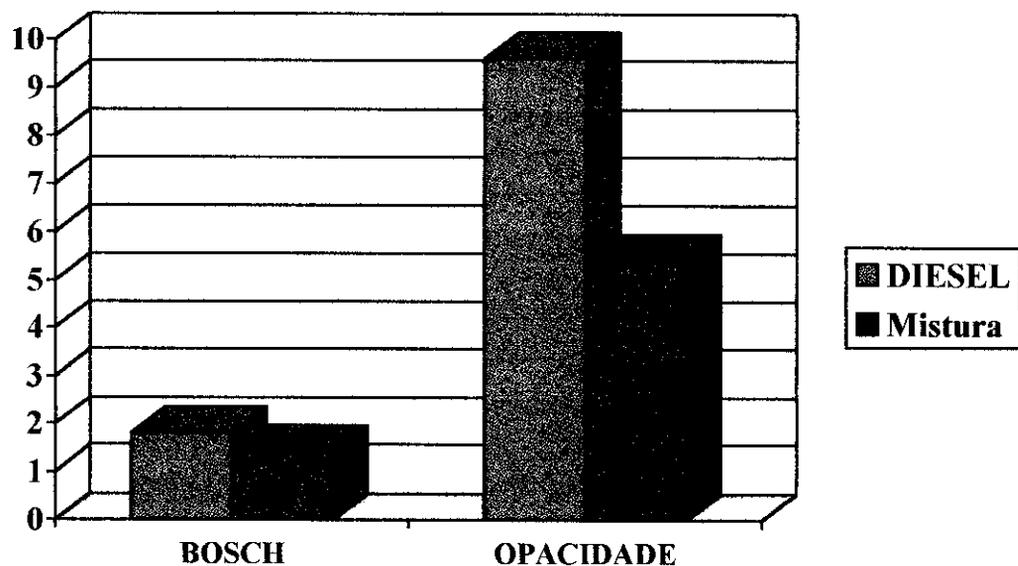
Em síntese, os resultados apresentados mostram que a durabilidade do sistema de injeção é reduzido pelo uso do combustível, não havendo, por outro lado, uma base segura para uma conclusão quanto ao tempo de vida dos componentes ou do sistema como um todo, uma vez que foram utilizados equipamentos já com uma vida útil avançada [6].

Portanto, fica evidente que há vários aspectos importantes a serem analisados quanto à durabilidade do sistema de injeção dos veículos testados.

5.4.7 Emissões de fumaça

Os veículos foram testados nas condições de operação e manutenção dadas pela empresa. Para determinar a opacidade, foi utilizado um opacímetro de fluxo total, enquanto o grau de enegrecimento foi avaliado através de medidor de fumaça Bosch. As emissões foram medidas tanto com o uso do óleo diesel metropolitano Tipo - C puro quanto com a MADA – 11,2. Cada corrida foi composta por três medições de opacidade e uma medida aritmética do índice Bosch. No total foram executadas 162 medições de opacidade e 54 medições de índice Bosch [6].

Gráfico.7 Média dos Resultados dos Ensaios de Emissões



Fonte: [6]

Notas: **ÍNDICE BOSCH:** DIESEL= 1,8 Mistura = 1,4 **REDUÇÃO:** 22,22%
OPACIDADE: DIESEL = 9,6 Mistura = 5,4 **REDUÇÃO:** 43,75%

Observa-se que, com o uso da mistura, ocorreu uma redução bastante significativa dos níveis de fumaça emitida pelos veículos em campo. No entanto, a quantidade de veículos testados não permite uma avaliação satisfatória e confiável para gerar um parecer consistente sobre os ganhos referente as emissões de fumaça.

5.4.8 Ensaios de desempenho e emissões

Com objetivo de verificar a confiabilidade da MADA, a ALCOPAR solicitou ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo que avaliasse o efeito da MADA - 8 e 11,2 sobre o desempenho, consumo de combustível e emissão de poluentes do motor Mercedes Benz OM 366 LA – Versão EURO - 1

Os resultados apresentados são para ensaio com plena carga, com as regulagens do sistema de injeção para diesel, que é a condição de operação em campo.

Tabela.9 Variações Percentuais Comparadas ao Óleo Diesel Tipo-C

Parâmetro	Mistura c/ 11,2% etanol				Mistura c/ 8,0% etanol	
	0,25% NEH ²⁵		0,35% NEH		0,20% NEH	
	2600	1000	2600	1000	2600	1000
Rotação (rpm)						
Torque (N.m)	-5,2	-10,7	-5,6	-11,5	-4,7	-8,0
Fuligem (g/kWh)	-23,0	-29,4	-24,8	-33,1	-17,4	-31,4
Consumo Espec. (g/kWh)	+4,6		+4,3		+3,6	
Potência	-6,4		-7,3		-5,0	
CO (g/kWh)	+4,0		-2,5		-0,7	
NO _x (g/kWh)	-4,9		-6,6		-4,2	
HC (g/kWh)	+14,1		+11,0		+5,6	
MP (g/kWh)	-13,2		-9,0		-6,2	

Fonte: [39]

5.4.8.1 Resultado dos parâmetros avaliados

A qualidade da ignição do combustível utilizado em motores do ciclo Diesel é indicada pelo número de cetano. Para garantir uma ignição adequada e, conseqüentemente, melhor desempenho, a especificação brasileira limita em no mínimo 42 o número de cetano para o óleo diesel.

Os combustíveis testados apresentaram queda de 3 a 5 pontos no número de cetano, o que tornou necessário adicionar aditivos melhoradores de cetano²⁶ para efetivar os testes [39].

²⁵ Aditivo melhorador de cetano (nitrato de 2-etil hexanol - NEH)

²⁶ o número de cetano foi determinado em motor CFR segundo a norma ASTM D613 ("Ignition Quality of Diesel by the Cetane Method")

Buscou-se, então, definir as porcentagens em volume do aditivo melhorador de cetano (nitrato de 2-etil hexanol – NEH) que deveriam ser acrescentadas às misturas para que fosse possível reproduzir as mesmas condições de operação conseguidas quando este motor consumia somente óleo diesel. Verificou-se que, com o uso de procedimento, os valores percentuais necessários situavam-se entre 0,20 e 0,35% em volume de NEH [39].

Segundo a ANP, o diesel distribuído no estado do Paraná possui número de cetano já no limite da especificação, portanto o uso do álcool na mistura reduziria ainda mais esse índice.

- Torque: observa-se uma redução acentuada no torque para rotações a 1000 rpm. Esta redução adicional pode ser devida ao fato de a mistura ter um menor poder calorífico em relação ao diesel, portanto, menor energia introduzida na câmara de combustão. Em aplicações veiculares, isto pode implicar perda de rendimento, exigindo assim trocas de marcha mais freqüentes.
- Consumo e Potência: devido ao menor poder calorífico do combustível, para teores de 11,2% e 8,0% de álcool, o consumo aumentou 4,3% e 3,6% e a potência sofreu uma redução de 7,3% e 5,0% a 1.000 rpm. Entretanto, deve-se observar que o teste

dinamométrico não considerou o motor funcionando com MADA na mesma potência do combustível substituído²⁷. Sendo assim, colocase em dúvida a confiabilidade dos resultados apresentados, uma vez que todas as características são baseadas na MADA funcionando em potências inferiores às do combustível de referência²⁸.

- Emissões: os resultados indicaram reduções expressivas quando comparado com óleo diesel, com exceção dos hidrocarbonetos. A redução de CO e NO_x é bem mais significativa contendo 11,2% de álcool que na MADA - 8; porém, para os hidrocarbonetos a MADA - 11,2, a redução chega emitir 50% mais. A diferença de torque, potência e emissões de hidrocarbonetos encontrado entre as misturas poderia ser um dos fatores determinantes para se optar pela MADA – 8. Contudo, para os demais poluentes a escolha não se justifica.

²⁷ Óleo diesel metropolitano tipo-c

²⁸ Mesmo como estas observações houve aumento no consumo específico

Capítulo - 6 A Implementação da Mistura / Álcool / Diesel / Aditivo AEP-102 na Frota de Ônibus da Região Metropolitana de Curitiba

6.1 Resumo

Esta etapa do trabalho tem por finalidade caracterizar e quantificar o sistema atual de transporte de ônibus urbano da cidade e Região Metropolitana de Curitiba, verificar o impacto econômico quanto aos gastos com importação de diesel e emissões.

6.2 O Transporte Coletivo da RMC: Aspectos Históricos e Operacionais

Nas últimas duas décadas, o sistema de transporte urbano da Cidade de Curitiba vem apresentando uma evolução nas características do sistema da malha viária e da frota como um todo. Isso fez com que Curitiba obtivesse o título de sistema de transporte mais eficiente do Brasil.

A história do transporte urbano coletivo de Curitiba teve os seus primeiros registros a partir do final do século XIX, em 1887, quando o primeiro bonde circulava, com meio de tração animal (cavalos e bois), ligando o *Boulevard* Dois de Julho ao bairro do Bate! Neste mesmo ano, foi criada a primeira empresa de transporte urbano, *Empreza Ferro Carryl Curitybana*. Após 8 anos de sua existência os bondes passaram a ser controlados pelo empresário italiano

Santiago Colle²⁹, dando início a substituição dos bondes por trolebus elétrico [40].

Em 1930, a Companhia Força e Luz do Paraná assumiu o controle da *Ferro Carryl Curitybana* colocando em circulação os primeiros ônibus³⁰, iniciando um novo período na história dos transportes em Curitiba.

Em 1950, o empresário Aurélio Fressato, proprietário da Companhia Curitibana de Transportes, que já atuava no mercado operando linhas regulares desde 1936, ganhou a concorrência pública para explorar os serviços de transporte coletivo. No entanto, em 1952³¹, depois de aplicar um reajuste tarifário de 100% no ano anterior, sua empresa foi à falência [40].

Em 1955, o setor sofreu outra reformulação após estabelecer contratos de concessão com outras 13 empresas. Em 1960, os 360 mil habitantes de Curitiba eram servidos por 14 empresas, somando uma frota de 2.250 veículos, transportando uma média de 143.000 passageiros/dia nas 56 linhas, ao longo dos 22.922 quilômetros. Somente a partir dos anos 70 é que todos os bairros passaram a ser atendidos [40].

²⁹ Em 1910, Colle já havia transferido a empresa para *South Brazilian Railways* LTDA.

³⁰ Eles concorriam com os bondes, mesmo cobrando uma tarifa mais cara.

³¹ Neste mesmo ano os bondes saíram de circulação dando lugar às auto-lotações.

No ano de 1980, iniciou-se a criação da RIT - Rede Integrada de Transportes ligando Curitiba a outros 8 municípios da Região Metropolitana. Após duas décadas, o número de cidades atendidas aumentou para 12: Almirante Tamandaré, Colombo, Pinhais, São José dos Pinhais, Araucária, Fazenda Rio Grande, Campo Magro, Campo Largo, Contenda, Itaperuçu, Piraquara e Rio Branco do Sul.

O sistema de transporte urbano de Curitiba é reconhecido por associar baixo custo e alta eficiência quando comparado com outras cidades, proporcionando maior segurança e qualidade ao usuário. Estima-se que 80% dos usuários sejam beneficiados pela integração do transporte. Segundo pesquisa realizada pela URBS – Urbanização de Curitiba S.A, empresa que gerencia o transporte público local desde 1986, 89% dos usuários aprovam o sistema de transporte coletivo [41].

Hoje, o sistema de transporte urbano da cidade e da Região Metropolitana de Curitiba é realizado por 27 empresas privadas, das quais 10 atendem somente a capital, segundo um contrato de permissão de serviços. Essas empresas recebem permissão de serviço relativo aos horários, às fichas de controle e as escalas de motoristas e cobradores referentes a cada linha [40].

No entanto, o diferencial que Curitiba apresenta em relação às demais cidades é dispor de uma tarifa única que permite ao usuário se deslocar para todos os pontos da cidade.

6.3 A frota de ônibus na RMC

As características dos veículos são definidas para cada tipo de linha conforme normas e padrões estabelecidos pela URBS. Para cada região foi desenvolvida uma classe de potência, capacidade, e *layout* interno que atenda os requisitos mínimos de desempenho, segurança e conforto.

As tabelas a seguir mostram a frota total disponível na cidade e Região Metropolitana de Curitiba, com seus respectivos consumos.

Tabela. 10 - Frota de Curitiba

Curitiba			
Empresa	Distribuidor	Consumo	Número de
		Diesel Litros / Mês	Veículos Total
Auto Viação Marechal LTDA.	Petrobras	351.722,19	116
Auto V. Nossa Sra. Do Carmo LTDA.	Petrobras	647.923,84	221
Auto Viação Água Verde LTDA.	Petrobras	299.259,97	122
Auto Viação Curitiba LTDA.	Shell	314.821,21	85
Auto Viação Mercês LTDA.	Petrobras	204.111,39	78
Auto Viação Nossa Sra. Luz LTDA.	Petrobras	356.656,73	139
Auto Viação Redentor LTDA.	Ipiranga	657.161,96	253
Auto Cidade Sorriso LTDA.	Shell	655.368,29	248
Empresa Cristo Rei LTDA.	Esso	428.413,94	147
Transporte Coletivo Glória LTDA.	Texaco	610.026,34	214
Total		4.525.465,86	1623

Fonte: [40]

Tabela. 11 - Frota da RMC

Região Metropolitana de Curitiba			
Empresa	Distribuidor	Consumo	Frota
		Diesel Litros / Mês	Total
Araucária Trans. Coletivo LTDA.	Petrobras	213.385,00	72
A. V. S. José dos Pinhais LTDA.	Petrobras	347.957,00	107
A. V. Santo Antonio LTDA.	Texaco	318.455,33	129
Empresa de Ônibus C. Largo LTDA.	Esso	144.397,00	53
Empresa de Ônibus São Bráz LTDA.	Petrobras	36.902,00	14
Expresso Azul LTDA.	Petrobras/Ipiranga	168.497,30	169
Leblon Transporte de Passageiros	Texaco	150.000,00	63
Reunidas S/A Transportes Coletivo	Petrobras	27.441,00	12
Viação Antonina LTDA.	Petrobras	31.000,00	15
Viação Castelo Branco LTDA.	Petrobras	155.938,00	61
Viação Colombo LTDA.	Petrobras/Ipiranga	160.504,00	73
Viação do Sul LTDA.	Texaco	145.774,60	67
Viação Graciosa LTDA.	Shell	55.449,58	29
Viação Marumbi LTDA.	Shell	43.510,83	23
Viação Nobel LTDA.	Texaco	70.000,00	30
Viação Piraquara LTDA.	Petrobras	135.229,00	66
Viação Tamandaré LTDA.	Petrobras	205.268,85	94
Total		2.409.709	1077

Fonte: [40]

A Rede de Transporte de Curitiba e Região Metropolitana é composta por 469 linhas, sendo 388 integradas, com uma frota disponível de 2.700 veículos, trafegando por 1.100 km de vias, onde 72 km são em vias exclusivas. Nos dias úteis, é percorrida uma quilometragem média de 570 mil quilômetros [40].

Atualmente, a média diária de passageiros transportados nos 25 municípios que compõem a Região Metropolitana de Curitiba é de aproximadamente 2,0 milhões de pessoas. A frota circulante possui uma idade média de 6 anos, percorre uma quilometragem média de 80.000 km/ano, por veículo.

6.4 Impacto ambiental

Embora haja diferença quanto à natureza dos principais poluentes presentes na atmosfera, em função das características das fontes e do combustível utilizado, o uso veicular nos centros urbanos contribui de forma significativa para o agravamento da qualidade do ar.

Quanto ao uso veicular, os ônibus, por circularem diariamente nos centros urbanos representam a parcela mais significativa quanto ao aumento nas emissões de gases e fumaças emitidas na atmosfera.

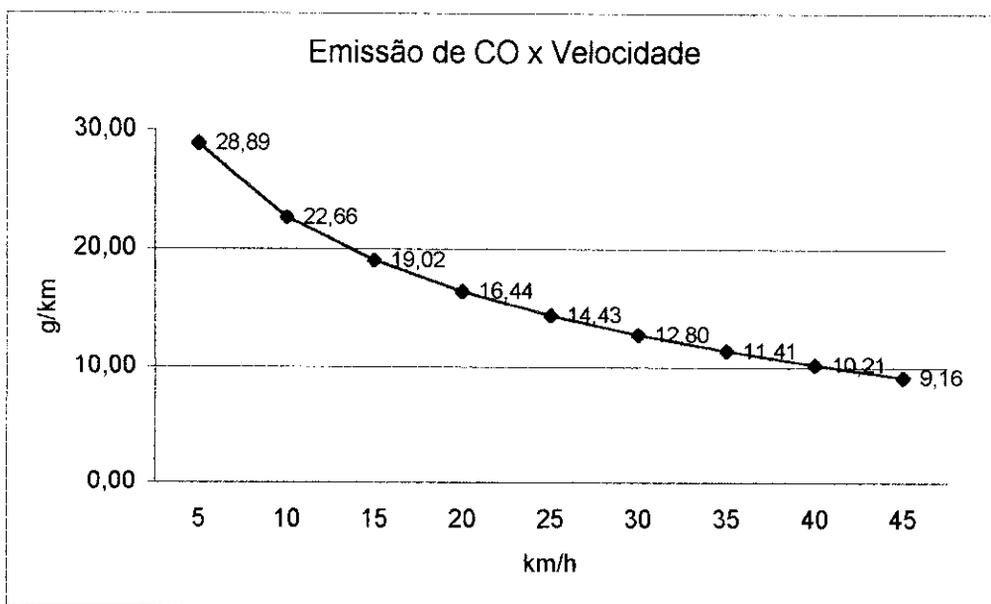
As condições de tráfego têm papel relevante nas emissões dos veículos. O consumo de combustível, assim como as emissões de poluentes estão relacionadas com a variação de velocidade dos veículos ao longo das vias de percurso, bem como das características dos combustíveis e do estado de manutenção dos veículos.

6.4.1 Influência da Velocidade de Tráfego nas Emissões Veiculares

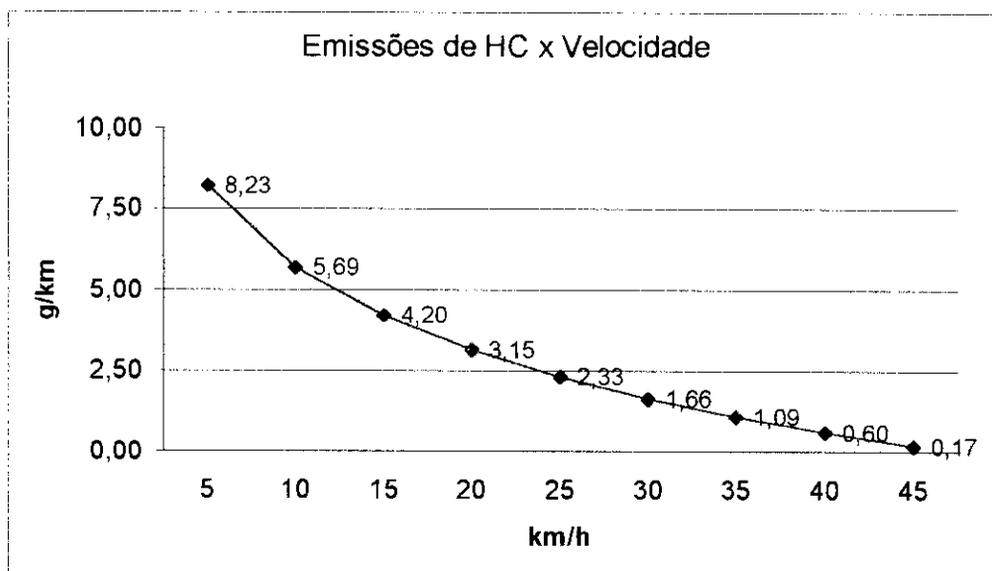
A ANTP desenvolveu uma metodologia usando equações empíricas para quantificar as emissões de CO, HC, NO_x, MP, emitido por ônibus urbanos equipados com motor do ciclo Diesel.

Utilizaram-se dados coletados pela CETESB, BHTrans, IPPUC/Curitiba, STP/João Pessoa e ST/GDF [42].

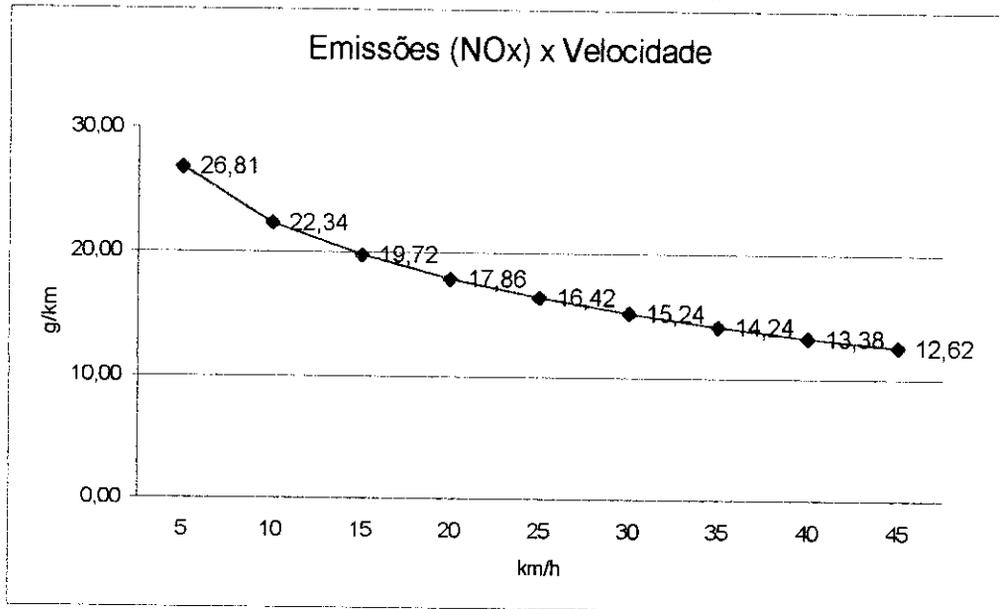
Os gráficos a seguir apresentam uma tendência de comportamento das emissões emitidas por ônibus urbanos, em função da velocidade média do percurso. São avaliados apenas o monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos (HC), óxido de nitrogênio (NO_x) e material particulado (MP).

Gráfico.8 - Emissão de CO

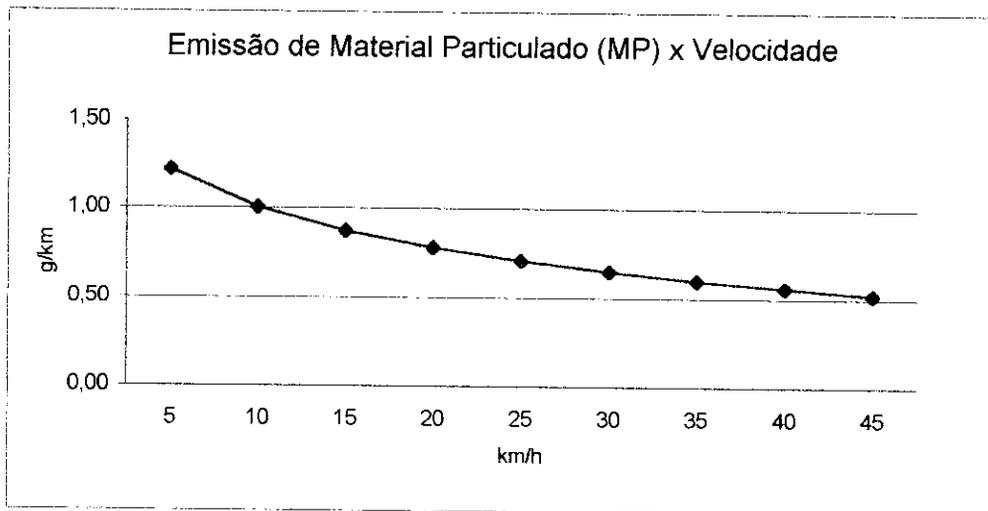
Fonte: [42]

Gráfico.9 - Emissão de HC

Fonte: [42]

Gráfico.10 - Emissão de NO_x

Fonte: [42]

Gráfico. 11 Emissão de MP

Fonte: [42]

6.4.2 Fatores de Emissão para os Veículos Movidos a Diesel

Na tabela a seguir são apresentados os fatores médios de emissão para veículos pesados.

Tabela. 12 Fatores Médios Emissão: Ônibus Urbano Diesel

Poluente	Valores Médios
CO	17,8 g/km
HC	2,9 g/km
NO _x	13,0 g/km
Material Particulado	0,81 g/km

Fonte: [20]

Para quantificar os fatores de emissão para cada poluente, CO, HC, NO_x e MP, considera-se neste trabalho que:

- Os ônibus urbanos funcionam em média com 50% de sua potência máxima devido ao número de paradas e fluxo de tráfego;
- Conforme dados obtidos junto a URBS, a velocidade está entre 19 km/h, no período da manhã, e 21 km/h, no período da tarde. Portanto, a velocidade a ser considerada para os ônibus será de 20 km/h.

Os testes para se determinar as emissões de poluentes em veículos pesados movidos a diesel são realizados em bancadas dinamométricas, utilizando-se apenas o motor. Portanto, os resultados dos fatores são expressos em grama por unidade de potência (g/kWh).

Tabela13 Ensaio de Emissões de Poluentes para Motores de Ônibus Urbano

Combustível	Potência Ponderada KW	Emissões (g/kWh)			
		CO	NO _x	HC	MP
Diesel	75	4,03	3,94	0,726	0,269
MADA-8	75	3,94	3,63	0,764	0,161

Fonte: [39]

Uma vez determinada a potência média do motor e velocidade média, é possível converter os fatores em g/km.

$$FE(g/km) = \frac{FE(g/kW \cdot h) \cdot N_{m\u00e9dia}}{V_{m\u00e9dia}(km/h)}$$

FE(g/km)= Fator de emissão

Nm\u00e9dia= Pot\u00eancia m\u00e9dia

Vm\u00e9dia(km/h)= Velocidade m\u00e9dia

Tabela. 14 Fator de Emissões

Combustível	Emissões (g/km)			
	CO	NO _x	HC	MP
Diesel	15,11	14,77	2,72	0,80
MADA-8	14,77	13,86	2,86	0,60
Varição Diesel(%)	+2,30	+6,56	-4,86	+33,33

Fonte:[próprio autor]

Com base nas informações apresentadas na tabela anterior, a substituição do óleo diesel pela MADA-8 promoveria uma redução de aproximadamente 18 t/ano MP, 310 t/ano NO_x, 13 t/ano CO. Porém, a massa de HC aumentaria cerca de 22 t/ano.

Embora a revisão da literatura mostre que existe diferença entre as metodologias empregadas, a relação mais importante, velocidade e emissão, apresenta valores muito próximos na maioria dos trabalhos.

É importante observar que a redução nas concentrações dos poluentes pode ser obtida através de medidas que visem ao aumento da fluidez no tráfego pela elevação da velocidade média do percurso.

6.5 Consumo de óleo diesel

A tabela abaixo apresenta a economia prevista com importação de diesel caso seja utilizado MADA-8 como combustível da frota atual de ônibus urbanos da RMC.

O consumo estimado é baseado numa quilometragem média anual, rodada por veículo, de 80.000km e considerando-se uma média de 2,5km/l. Considerou-se uma cotação de US\$ 28,00/barril para determinação da economia de divisas.

Tabela. 15 - Redução com Importação de Diesel

	Frota	Consumo Diesel (barris/ano)	Redução Importação de Diesel (barris/ano)	Economia de Divisas (US\$/ano)
Curitiba	1623	181.864,86	19.277,67	539.774,76
RMC	1077	341.544,59	36.203,7	1.013.703,50
Total	2700	523.409,45	55.481,4	1.553.478,36

Fonte: [Próprio autor]

Destaque-se que o volume de diesel economizado na Cidade e Região Metropolitana de Curitiba representa menos de 1% do total das importações realizadas no ano de 2002.

Capítulo 7.0 - Conclusões e Recomendações

Após analisar os vários pontos envolvidos na questão de viabilizar o uso da MADA em frota de ônibus urbano, podem-se tecer as seguintes conclusões:

- A poluição atmosférica das grandes cidades requer soluções imediatas, onde estas deverão contemplar a melhoria da circulação dos veículos automotores e a qualidade dos combustíveis utilizados. A inserção de novas tecnologias para veículos e o uso de combustíveis limpos deve ser um dos caminhos a ser seguido como forma de melhoria na qualidade do ar que respiramos. Sendo assim, o uso da MADA pode trazer uma redução significativa a quantidade de gases poluentes que são lançados diariamente, principalmente se considerarmos o potencial para redução de material particulado (fumaça negra).
- Pelo aspecto energético, a MADA pode contribuir de forma a reduzir as importações de petróleo e derivados, além de poder colaborar para um equilíbrio do Proálcool. No entanto, esse benefício somente seria significativo caso houvesse o uso em grande escala. Conforme apresenta a tabela.15, o volume de diesel que deixaria de ser consumido pela frota de ônibus urbano da Cidade e Região Metropolitana de Curitiba representa menos de 1% do total das importações brasileiras realizado no ano de 2002.

- Os testes de campo realizados não são suficientes para uma conclusão sobre a viabilidade técnica da MADA, pois os resultados disponíveis são baseados em um pequeno número de ensaios, representativo de um único modelo / versão de motor. Os testes deveriam ter seguido um plano rigoroso de monitoramento com acompanhamento dos fabricantes de motores e de autopeças.

- Os resultados de durabilidade de campo e bancada mostraram desgaste prematuro dos componentes vitais do sistema de injeção, pois a MADA não apresentou uma capacidade de lubrificação suficiente, o que mostra que a adição de 2,6% de AEP-102 é incapaz de solucionar a deficiência de lubricidade causada pelo álcool.

- A estabilidade do combustível nas condições de estocagem também pode ser uma limitação, pois soluções de álcool - diesel podem submeter-se a transições de fase quando alteram as condições de temperatura e umidade do ar. Esta questão ainda é de difícil solução por não se dispor de ferramentas termodinâmicas capazes de descrever esse fenômeno. Portanto, os resultados dos testes de estocagem e de solubilidade são insuficientes para confirmar se a MADA permanece estável frente às situações de instabilidade meteorológicas.

- Quanto à experiência internacional, as informações apresentadas neste trabalho foram insuficientes para avaliar a viabilidade comercial das misturas.
- Os testes de campo e laboratório devem ser mais abrangentes, com maior número de motores e sistema de injeção, passando a ser acompanhados pelos órgãos ambientais, fabricantes de motores e de autopeças para se identificar uma maior gama de potenciais problemas e soluções, seja a curto ou longo prazo. Assim, pode-se assegurar que todos os pontos sejam considerados na avaliação.
- Deve-se analisar o efeito das diferentes proporções do AEP-102, bem como o teste com outros aditivos, pois a avaliação de um único aditivo pode colocar em risco a garantia na oferta da MADA.
- A MADA apresentou perda de cetano de 3 a 5 pontos, o que a deixa bem inferior à especificação do óleo diesel. Para os testes em bancada dinamométrica houve a necessidade de se adicionar melhoradores de cetano, contudo, o mesmo procedimento não foi previsto para a sua formulação nos testes de campo, o que torna evidente a não existência de uma caracterização completa dos combustíveis utilizados nos testes.

- Caso recomendada, a utilização da MADA ficaria restrita ao uso de frota com “motores antigos”, pois não se sabe os efeitos que poderiam causar nos veículos mais modernos os quais utilizam sistema de injeção de combustível com comando eletrônico.

- Por fim, a recomendação da MADA só se deve vir, se acompanhada de soluções técnicas que evitem a ocorrência de desgaste prematuro dos componentes do sistema de injeção e do conhecimento pleno das condições de estabilidade do combustível.

7.1 Referências Bibliográficas

- [1] Agência Nacional de Petróleo - ANP (2000); **Anuário Estatístico da Indústria Brasileira do Petróleo 1990-2001**, Rio de Janeiro.
- [2] Petrobras (1999); **O Petróleo e a Petrobras em Perguntas e Respostas**. Revista Editada pelo Serviço de Comunicação Institucional, Rio de Janeiro.
- [3] Szwarc, A. (1990); **Impacto Ambiental da Mistura Combustível Etanol-Metanol-Gasolina**, CETESB, São Paulo.
- [4] Bohm, G. (1988) **Patologia de Poluentes Atmosféricos**, Encontro de Docentes e Pesquisadores da USP sobre meio ambiente, São Paulo.
- [5] CETESB (1992) **Inventário de Emissão Veicular: Metodologia de Cálculo**, São Paulo.
- [6] Tecpar / Alcopar (1999); **Programa Avaliação da Viabilidade Técnica da Mistura Álcool Anidro / Diesel / Aditivo**, Relatório de Coordenação do Projeto do Paraná, Curitiba.
- [7] Balassiano, R. (1991); **Alternativas Tecnológicas para o Ônibus Urbano: Avaliação do Ônibus a Gás Natural Comprimido, do Trolebus e de seus**

Impactos Ambientais Atmosféricos. Dissertação de Mestrado, Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ, 193 p.

[8] **Consórcio Paulista de Transporte por Ônibus – Eletrobus.** Homepage na internet: <http://www.eletrabus.com.br>.

[9] T. Murayama, Y.; Fujiwara; T. Noto (1999); **Evaluating Waste Vegetable Oils as a Diesel Fuel.** Proc Instn Mech Engrs, Vol. 214 Part - D.

[10] Ministério de Minas e Energia (1984); **Substituição de Óleo Diesel: Alternativas e Viabilidade de Diesel Vegetal,** Relatório Final, 78p, Brasília.

[11] Módolo, Délson L. (1998); **Desenvolvimento de um Modelo Matemático para Simulação de Sistema de Injeção para Motores do ciclo diesel com Bombas Rotativas Utilizando Éster Metílico de Óleo de Soja.** Tese de Doutorado, São Carlos, EESC/USP, 166p.

[12] Venanzi, D.; Cardoso S. (1988); **Combustíveis Alternativos de Motores Deisel,** Simpósio Nacional, Anais - Vol.1, MME-Brasília.

[13] Tecpar (2000); **Utilização do Biodiesel B-20 em Curitiba,** Relatório Técnico, Curitiba.

[14] Wendt, H. *et al* (2000); **Tecnologia de Células a Combustível**. Química Nova, Vol. 23, nº4.

[15] Ministério de Minas e Energia (2000); **Programa de Transporte Coletivo Movido a Hidrogênio (Projeto GEF)** , (não publicado), Brasília.

[16] Mark, J. (1997); **Environmental and Infrastructure Trade-Offs of Fuel Choices for Fuel Cell Vehicle: Future Transportation Technology Conference**. San Diego, SAE Technical Paper 972693.

[17] Scott, D. S.; Hafele W. (1990) **The Coming Hydrogen**, International Journal of Hydrogen Energy, Vol. 15, nº 10.

[18] MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA (2000); **Viabilidade Técnica da Mistura de 3% de Álcool Anidro ao Diesel (MAD3)**, Relatório Final, Brasília.

[19] Lora Electro, E. S. (2000); **Prevenção e Controle da Poluição nos Setores Energético, Industrial e de Transporte**, 503p., ANEEL, Brasília.

[20] PROCONVE (1999); **Coleção Meio Ambiente: Série Diretrizes Gestão Ambiental**, 2ª ed, Brasília.

[21] Coelho, Suani T. (1999); **Mecanismos para Implementação da Cogeração de Eletricidade a Partir de Biomassa: Um Modelo para o Estado de São Paulo**, Tese de doutorado, PIPGE/USP, São Paulo.

[22] Ribeiro, Suzana K. (1997); **O Álcool e o Aquecimento Global**, CNI, COINFRA: COPERSUCAR, Rio de Janeiro, 112 p.

[23] Macedo, Isaias C. (2000); **O Ciclo da Cana-de-Açúcar e Reduções Adicionais nas Emissões de CO₂**, Centro de Tecnologia Copersucar, Piracicaba, São Paulo.

[24] DOE Office of Transportation Technologies. Home: [http// www.ott.doe.gov](http://www.ott.doe.gov)

[25] Volkswagen do Brasil Ltda (2003); **Gol Total Flex – Relatório de Desempenho e Emissões**, c.t, n.543, São Bernardo do Campo

[26] Moreira, José R. e Goldemberg, J. (1999); **The Alcohol Program**, Energy Police, Vol 27, 229-245p.

[27] ANP-PUC / RJ (1999); **Análise do Impacto da Abertura do Mercado Brasileiro de Derivados de Petróleo**. (Relatório Final, não publicado).

[28] Taylor, Charles. F.(1976); **Análises dos Motores de Combustão Interna. V I-II**, ed. 4º, Trad. De Engº. Mauro Ormeu Cardoso Amorelli. São Paulo, Edgard Blucher.

[29] BOSCH (2000); **Bombas Distribuidoras: Gerenciamento de Motores Diesel**, ed.2000, Campinas, (Apostila técnica).

[30] BOSCH (2000); **Bombas Injetoras em Linha: Gerenciamento de Motores Diesel**, ed.2000, Campinas, (Apostila técnica).

[31] BOSCH (1999); **A Técnica de Injeção Diesel em Resumo: Gerenciamento de Motores Diesel**, ed.1998 / 1999, Campinas, (Apostila técnica).

[32] Sugiyama, H. (1980); **Utilization of Alcohol as a Fuel in Diesel Engines**, IV Simpósio Internacional sobre Tecnologia dos Alcoois como Combustível, Anais, Guarujá.

[33] Moises, C.; Ryan, T.W.; Likos, W.E (1980); **Experiments With alcohol / Diesel fuel blends in compression-ignition engines**, IV Simpósio Internacional sobre Tecnologia dos Alcoois como Combustível. Anais, Guarujá.

[34] Fujisawa, J.; Yokota, K. (1981); **A New Look at the Utilization of Alternate Fuels for Diesel Engines**, SAE paper 810998.

[35] Augusto, C.; Aguiar S. (1990); **Combustíveis Alternativos para Motores Diesel**. Anais do Seminário Combustíveis Alternativos no Brasil, pp. 152-164, SAE-Brasil, São Paulo.

[36] Swedish Ethanol Chemisty AB (1997); **Use of Biofuels for Tranportation**, International Conference, Sweden.

[37] Amorim, Sandra P. “ **Patente do Combustível Ecológico a Venda**”. Cazeta Mercantil, Brasília, 21 de março de 2001, p.8.

[38] Agência Nacional de Petróleo – ANP (2002); **Parecer Técnico dos Sumários Executivos da Mistura Álcool-Diesel-MADA8**, (Nota Técnica, n. 026/SQP), Rio de Janeiro.

[39] Instituto de Pesquisas Tecnológicas (1998); **Ensaio de Desempenho e Emissões de Motor de Ignição por Compressão Operando com Mistura Etanol Anidro / Óleo Diesel Aditivada com Melhorador de Cetano**, Relatório N° 37.729, São Paulo.

[40] Urbanização de Curitiba – URBS (1999); **Planejamento Urbano de Curitiba – Transporte Coletivo**, (não publicado), Curitiba.

[41] Urbanização de Curitiba – URBS (1999); **O Consumo de Combustível dos Veículos Operando com Álcool / Diesel / Aditivo AEP-102**, (Relatório não Publicado), Curitiba.

[42] Associação Nacional dos Transportes Públicos - ANTP (2000); **Emissões de Poluentes nas Grandes Cidades Brasileiras**, Coleção n.4, São Paulo.

7.2 - Bibliografia Consultada

Avaliação de Caminhões e Tratores a Álcool; Coleção Sopral-3, Março de 1983.

Neto, Pedro R. C. *et alii.* (2000) **Produção de Biocombustível Alternativo ao Óleo Diesel Através da Transesterificação de Óleo de Soja Usado em Frituras**, Química Nova Vol. 23, nº4.

Adelman H. G.; Pefley R. K. (1980); **Utilization of Pure Alcohol Fuels in a Diesel by Spark Ignition**, University of Santa Clara. IV Simpósio Internacional sobre Tecnologia dos Alcoois como Combustível. Anais, Guarujá.

Agência Nacional de Petróleo – ANP (2001); **Combustíveis no Brasil: Políticas de Preço e Estrutura Tributária**, (Nota Técnica, não Publicado), Rio de Janeiro.

Associação de Engenharia Automotiva - AEA (2001); **Álcool Combustível Alternativa para o Futuro**. Seminário promovido pela Associação de Engenharia Automotiva, São Paulo.

Coelho, Suani T. *et alii* (2000) **Medidas Mitigadoras para a Redução de Emissões de Gases de Efeito Estufa na Geração Termelétrica**. Brasília: Ed. Dupligráfia, 222p.

CETESB (1997); **Por um Transporte Sustentável**, Secretaria de Estado de Meio Ambiente, São Paulo.

Departamento Nacional de Desenvolvimento Energético (1998); **Adição de Álcool ao Diesel**, Seminário promovido pelo Ministério de Minas e Energia, São Paulo.

Departamento Nacional de Desenvolvimento Energético (1997); **Reunião do Programa de Viabilidade da Mistura Álcool - Diesel**, Nota Interna nº 111 / 97-DNDE, Brasília.

Departamento Nacional de Desenvolvimento Energético (1996); **Síntese das Decisões da CINAL: O Proálcool Visto como um Todo**, Nota Interna nº 08 /96-F.

Departamento Nacional de Política Energético (2000); **Tendências Internacionais no Controle da Poluição Veicular**, Seminário promovido pela Associação Brasileira de Engenharia Automotiva - AEA e do IBAMA, Brasília.

DOE Office of Transportation Technologies. Homepage na internet:
<http://www.ott.doe.gov>

Goldemberg, J. (1990); **S.O. S Planeta Terra**, ed. 1º, Editora Brasiliense, São Paulo, 72p.

Garcia, O. ; Brunette, F. (1992) **Motores de Combustão Interna**, Apostila, ed. 2º, São Paulo.

Gomide, R.(1968); **Estequiometria Industrial**, ed. 5º.

Hansen, K. F. (1997); **Chemical and Biological Characteristics of Exhaust Emissions from a Diesel Engine Fueled With Papeseed Oil Methyl Ester**, SAE 971689.

Hansen J. B. *et alii* (1995); **Large Scale Manufacture of Dimethyl Ether: A New Alternative Diesel Fuel from Natural Gas**, SAE 950063.

Legrand, J. (2000); **The Needs for Additives in Fuels in Europe: The Additives Market**, Altener Meeting, Paris-France.

Martínez, M. L. (1999); **A Indústria do Petróleo**. Análise Setorial da Gazeta Mercantil. V. 1, 2, 3. São Paulo.

Michael, D. P. (2000); **An Assessment of the Prospects for Fuel Cell – Powered Buses** , Programme Manager, Advanced Fuel Cells, Didcot-UK.

Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (1999); **Efeito Estufa e a Convenção Sobre Mudança do Clima**, Departamento de Relações Institucionais, Brasília.

Nogueira, Luiz A. H. (1994); **Tecnologia y Economia de las Energias de Biomassa**, XXIV Curso Latinoamericano de Economia y Planificacion Energetica, San Carlos de Bariloche.

Nogueira, Luiz A. H. (2000); **Dendroenergia**, 144p., Brasília.

Nogueira, Luiz A. H. (2000); **A Agência Nacional de Petróleo e a Qualidade dos Combustíveis Brasileiros**, 5º Encontro de parcerias para o desenvolvimento tecnológico e industrial em energia. Seminário promovido pelo CENBIO / MCT, Brasília.

National Alternative Fuel and Clean Cities Hotline. Homepage na internet:
<http://www.afdc.doe.gov>

Ometto, João G. S. (1998); **O Álcool Combustível e o Desenvolvimento Sustentado**, 79p., ed. PIC, São Paulo.

Smith, J. M.; Van Ness, H. C (1974); **Introdução à Termodinâmica da Engenharia Química**, ed.3º, Tradução: Eduardo Mach Queiroz, São Paulo.

Saka, S.; Dadan, K. (1995) **Transesterification of Rape Seed Oils in Supercritical Methanol to Biodiesel Fuels**, SAE 9492154.

Stavinoha, L.L (1999); **Potencial Analytical Methods for Oxidative Stability Testing of Biodiesel and Biodiesel Blends**, SAE 1999-01-3520.

Verbeek R.; Weide V. J. V. (1997); **Global Assessment of Dimethyl-Ether: Comparison With Other Fuels**, SAE 971607.

Valle Maria, L. M. *et alii* (1998); **Production de Aditivos Oxigenados para Gas Oil y Otros Combustibles a Partir de Biotenol**, Seminário Internacional, Cuba.
