

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA

ÁREA INTERDISCIPLINAR DE PLANEJAMENTO
DE SISTEMAS ENERGÉTICOS

TESE DE MESTRADO
PROGRAMAS DE AJUSTE DA DEMANDA DE
ÁLCOOL E DE DERIVADOS DE PETRÓLEO

Autor Antonio Buonfiglio

Orientador Prof. Doutor Sergio Valdir Bajay

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE A REDAÇÃO FINAL DA
TESE DEFENDIDA POR ANTONIO BUONFIGLIO

E APROVADA PELA
COMISSÃO JULGADORA EM 16 / 12 / 92.

B889p

35018/BC

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL

UNIDADE	BC
N.º CHAMADA:	Unicamp
	B889p
V.	Ex
TOMBO BC/	35018
PROC.	395,98
C	☐
D	☒
PREÇO	R\$ 11,00
DATA	14/09/98
N.º CPO	

CM-00116227-4

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

B889p Buonfiglio, Antonio
Programas de ajuste da demanda de álcool e de derivados de petróleo. / Antonio Buonfiglio.-- Campinas, SP: [s.n.], 1992.

Orientador: Sergio Valdir Bajay
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica.

1. Petróleo - Refinação. 2. Petróleo - Derivados. 3. Combustíveis. 4. Álcool como combustível. 5. Gasolina. 6. Gás como combustível. I. Bajay, Sergio Valdir. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Mecânica. III. Título.



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
SCPG-PLANEJAMENTO DE SISTEMAS ENERGÉTICOS

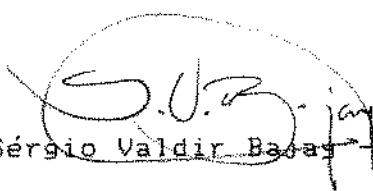
Tese de: Mestrado

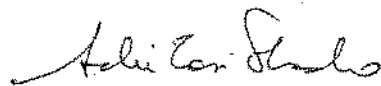
Título da Tese: "Programas de Ajuste da Demanda de Álcool e de Derivados de Petróleo"

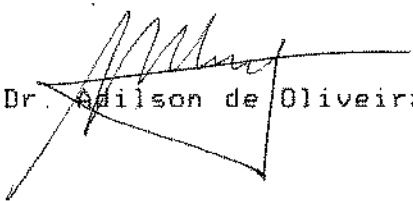
Autor: Antonio Buonfiglio

Orientador: Prof. Dr. Sérgio Valdir Bajay

Aprovado por:


Prof. Dr. Sérgio Valdir Bajay - Presidente


Prof. Dr. André Tosi Furtado


Prof. Dr. Adilson de Oliveira

Campinas, 16 de dezembro de 1992.

A meus pais, Domenico e Nina.

A Célia, Vitor, Júlia e Helena.

S U M Á R I O

O objetivo desta dissertação, foi obter uma visão geral das tendências, do mercado e o suprimento dos combustíveis líquidos, para se projetar cenários, sugerindo-se programas para tornar mais adequado no futuro, o suprimento dos combustíveis.

Face ao objetivo proposto, procurou-se mostrar os principais aspectos do refino do petróleo. Fez-se um levantamento histórico, desde o surgimento, até os dias de hoje. No início refinava-se para produzir principalmente o querosene de iluminação, depois o refino tinha por objetivo a produção da gasolina, e atualmente, face a preocupação com meio ambiente, incentiva-se o transporte coletivo, e assim o diesel já é o derivado mais importante.

Desenvolveu-se modelos de demanda, um modelo simplificado do refino, abordou-se a questão de preços da gasolina, álcool, dos derivados no mercado internacional, e até mesmo as principais tendências da qualidade desses combustíveis, frente as questões ambientais.

Especial ênfase foi dada a análise dos combustíveis do ciclo otto. As perdas de arrecadação do estado de 1980 a 1990, devido aos diversos incentivos ao PROÁLCOL, foram estimadas em 9,7 bilhões de US \$, devido principalmente ao maior preço ao produtor do álcool em relação a gasolina. Para o futuro sugere-se uma alteração na política de preços aos produtores de álcool, o estabelecimento de cotas, e o controle do percentual de venda de novos veículos à álcool e gasolina vendidos no mercado interno.

Nos modelos verificou-se a conhecida correlação entre PIB e o consumo de diesel. E caso o PIB cresça nos próximos anos, levará a um consumo de diesel, só atendido pelo aumento significativo do refino de petróleo no Brasil, gerando excedentes de gasolina e óleo combustível.

Sugere-se como forma de melhorar o meio ambiente das cidades brasileiras, e facilitar o suprimento energético do país, a eletrificação e o uso do gás no transporte urbano de passageiros.

O gás deve ser usado para facilitar o suprimento energético, e deste forma deve substituir o diesel e o GLP. Ou seja, os projetos de distribuição de gás não podem contemplar apenas a substituição de óleo combustível, terão que substituir GLP de uso residencial e diesel do setor transporte.

Sugere-se também como opção às novas demandas de energia elétrica, que não possam ser atendidas pela expansão do sistema hidrelétrico, a geração de energia por coque de petróleo, e também por grupos de motores estacionários, que poderiam utilizar parte do óleo combustível exportado.

ÍNDICE

CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO

1.1	Os problemas atuais do refino de petróleo no Brasil	1
1.2	Objetivo da dissertação	2
1.3	Estrutura do trabalho	3

CAPÍTULO II - O REFINO DO PETRÓLEO

2.1	O petróleo	4
2.1.1	Os hidrocarbonetos do petróleo	4
2.1.2	Caracterização do petróleo	6
2.2	Características e especificações dos derivados de petróleo	8
2.2.1	Combustíveis do ciclo otto	8
2.2.2	óleo diesel	11
2.2.3	Gás liquefeito de petróleo - GLP	12
2.2.4	Querosene de aviação e querosene de iluminação	13
2.2.5	óleo combustível	15
2.2.6	Outros derivados de petróleo	16
2.2.6.1	Naftas petroquímicas	16
2.2.6.2	Asfaltos	16
2.2.6.3	Aguarrás e solventes de borrachas	16
2.2.6.4	óleos lubrificantes	17
2.3	A destilação	17
2.4	A conversão térmica	19
2.4.1	A viscorredução	19
2.4.2	Coqueamento retardado	21
2.5	A conversão catalítica	23
2.5.1	Reforma catalítica	23
2.5.2	Craqueamento catalítico	25
2.6	Os processos de hidroconversão	27
2.6.1	O hidrotratamento	28
2.6.2	O hidrocraqueamento	30
2.7	Outros processos de refino	32
2.7.1	Desasfaltação	32
2.7.2	Alquilação	33
2.8	O processo de produção do MTBE	35
	BIBLIOGRAFIA	37

CAPÍTULO III - EVOLUÇÃO HISTÓRICA DO REFINO

3.1	Introdução	38
3.2	A fase inicial do refino	39
3.2.1	Retrospectiva histórica	39
3.2.2	O surgimento do petróleo e refino	41
3.2.3	Primeiras refinarias, tecnologia e nomenclatura	42
3.2.4	Os processos da primeira fase do refino	44

3.2.4.1	A destilação por bateladas	44
3.2.4.2	Destilação destrutiva	45
3.2.4.3	Tratamento de querosene	45
3.2.4.4	Destilação contínua e multi-estágios	45
3.2.5	O esquema padrão de refino da época	46
3.2.6	A organização das empresas de petróleo	47
3.2.6.1	A Standard Oil	47
3.2.6.2	A empresa dos irmãos Nobel	49
3.2.7	A lucratividade ou "margem de refino"	50
3.3	A segunda fase do refino	53
3.3.1	Aspectos gerais	53
3.3.2	O mercado da segunda fase - a gasolina	55
3.3.2.1	O aparecimento do automóvel	55
3.3.2.2	Os principais produtos do mercado	57
3.3.3	A tecnologia e os processos de refino	59
3.3.3.1	Os processos contínuos e as plantas de gasolina natural	59
3.3.3.2	Craqueamento térmico e catalítico	60
3.3.3.3	A unidade de reforma catalítica e o chumbo tetraetila	61
3.3.3.4	Outras unidades de refino	63
3.3.4	As refinarias típicas do segundo período	63
3.3.5	Lucratividade e margem de refino	68
3.4	A terceira fase do refino	68
3.4.1	Aspectos gerais	68
3.4.2	A conscientização ecológica - ou o terceiro choque do petróleo	75
3.4.3	Principais produtos e tecnologia	77
3.4.3.1	Unidades que reduzem a formação do óleo combustível	79
3.4.3.2	As unidades de hidrorefino	80
3.4.3	Unidades que elevam a qualidade dos produtos	82
3.4.4	As refinarias típicas do terceiro período	83
3.4.5	Perspectivas futuras	88
	BIBLIOGRAFIA	89

CAPÍTULO IV - TENDÊNCIAS ATUAIS DO REFINO

4.1	As principais preocupações ambientais	91
4.1.1	O efeito estufa	91
4.1.2	Gases ácidos: SO_x E NO_x	95
4.1.2.1	Os óxidos de enxofre	95
4.1.2.2	Os óxidos de nitrogênio	96
4.1.3	Os hidrocarbonetos e o ozônio	97
4.1.4	Materiais particulados - o smog negro	99
4.1.5	Aspectos controvertidos	100
4.2	Tendências para a gasolina	101
4.2.1	Aspectos gerais	101
4.2.2	A era pós chumbo tetraetila - os promotores de octanagem oxigenados	102
4.2.2.1	O metanol	104
4.2.2.2	O MTBE	106
4.2.3	Emissão de hidrocarbonetos	108
4.2.4	Tendências gerais para a gasolina	109
4.3	Problemas e perspectivas da gasolina brasileira	111
4.3.1	Aspectos gerais - o consumo	111

4.3.2	A gasolina e o álcool	113
4.3.3	Aspectos econômicos	115
4.4	Principais perspectivas para o óleo diesel	116
4.4.1	Introdução	116
4.4.2	O aumento da demanda do óleo diesel	117
4.4.3	Perspectiva de qualidade	118
4.4.4	Conclusão	118
4.5	Perspectivas para o óleo diesel no Brasil	118
4.5.1	Aspectos gerais	118
4.5.2	Dificuldades futuras no atendimento da demanda de óleo diesel	119
4.5.3	O óleo diesel brasileiro - conclusão	121
4.6	Outros produtos	122
4.6.1	O GLP	122
4.6.2	O óleo combustível	122
	BIBLIOGRAFIA	125

CAPÍTULO V - MODELOS DE DEMANDA

5.1	Principais metodologias	127
5.1.1	Introdução	127
5.1.2	Métodos econométricos	127
5.1.3	Modelos de uso final	128
5.1.3.1	Um modelo de uso final para previsão do consumo de gasolina nos EUA	129
5.1.3.2	Uma aplicação no Brasil	130
5.1.4	Modelos mistos	131
5.1.4.1	Um modelo misto para o óleo combustível	131
5.1.4.2	Um modelo misto para o setor transporte	132
5.1.4.3	Modelo misto para o setor transporte com base no PIB, preço do combustível e frota	133
5.2	Modelo sugerido para projetar as demandas de álcool e gasolina	135
5.2.1	Comentários iniciais	135
5.2.2	Hipóteses e dados assumidos para o modelo	135
5.2.3	Principais correlações do modelo	138
5.2.3.1	Projeção da quantidade de veículos em circulação	138
5.2.3.2	Projeção do número de veículos vendidos no mercado interno por ano	139
5.2.3.3	Projeção da quilometragem anual	140
5.2.3.4	Projeção da quilometragem média dos carros à gasolina	140
5.2.4	Comentários sobre o modelo apresentado	141
5.2.5	Projeções de demanda de álcool e gasolina	143
5.3	Modelo proposto para projetar a demanda de óleo diesel	147
5.3.1	Comentários iniciais	147
5.3.2	Hipóteses e dados assumidos pelo modelo	147
5.3.3	Modelos simplificados e comentários de alguns parâmetros do consumo de óleo diesel	150
5.3.4	Modelo proposto para estimar a demanda de diesel	151
5.3.4.1	Projeção da demanda de diesel do setor agrícola	152
5.3.4.2	Estimativa da demanda de diesel do setor rodoviário	152

5.3.4.3	Projeção da demanda total de diesel	153
5.4	Projeção da demanda de óleo combustível	154
5.4.1	Principais parâmetros do consumo de óleo combustível	154
5.5	Projeção da demanda de GLP	157
5.5.1	Hipóteses e dados de consumo	158
5.5.2	Principais correlações do consumo de GLP	159
	BIBLIOGRAFIA	163

CAPÍTULO VI - A QUESTÃO TRIBUTÁRIA ÁLCOOL E GASOLINA

6.1	Introdução	164
6.2	A tributação da gasolina em outros países	164
6.3	A sistemática de preços dos derivados no país	166
6.4	Preço do petróleo, da gasolina e perda de arrecadação pela substituição da gasolina	170
6.5	Outros incentivos ao PROALCOOL	173
6.5.1	O menor preço do carro à álcool	174
6.5.2	O menor IPVA do carro à álcool	175
6.5.3	Importação de produtos oxigenados	177
6.5.4	Aspectos ambientais	177
6.6	Análise consolidada	179
6.7	Histórico e perspectivas de preços da gasolina	180
	BIBLIOGRAFIA	182

CAPÍTULO VII - CENÁRIOS INTERNACIONAIS PARA OS DERIVADOS DE PETRÓLEO

7.1	Introdução	183
7.2	Perspectivas para o petróleo	183
7.3	Perspectivas de preço para o petróleo	185
7.4	Correlações de consumo e preço	187
7.5	Consumo de gasolina no mundo	189
7.6	Preço da gasolina e do óleo diesel	192
7.7	Influências no preço do petróleo	196
7.8	Conclusões	198
	BIBLIOGRAFIA	199

CAPÍTULO VIII - PROGRAMAS DE AJUSTE DA DEMANDA DE ÁLCOOL E DE DERIVADOS DO PETRÓLEO

8.1	Introdução	200
8.2	Combustíveis do ciclo otto	201
8.2.1	Principais considerações da situação atual	201
8.2.2	O desejável para o segmento	203
8.2.3	Incentivo à competitividade do setor álcool	205
8.2.4	Similaridade dos veículos à gasolina com os módulos à álcool - injustiça fiscal	206
8.2.5	Flexibilidade para os combustíveis do ciclo otto (experiência internacional)	208

8.3	Consumo e valorização do gás natural	210
8.4	Combustíveis do ciclo diesel	214
8.4.1	O custo do aumento de produção do óleo diesel	215
8.4.2	Uso do gás no setor transporte	218
8.4.2.1	Tecnologias de uso do gás no setor transporte	219
8.4.3	Redução do custo do transporte face ao uso do gás	220
8.4.4	Potencial de substituição de diesel por gás	221
8.4.5	Conclusões	223
8.4.6	Uso de grandes motores a ciclo diesel	224
8.5	Geração de energia elétrica com derivados de petróleo	227
8.5.1	Aspectos gerais - legislação ambiental	227
8.5.2	O preço dos óleos combustíveis - influência da viscosidade e da % de enxofre	227
8.5.3	O coque de petróleo	229
	BIBLIOGRAFIA	233

CAPÍTULO IX - MODELO DE OFERTA DE DERIVADOS E CENÁRIOS FUTUROS

9.1	Introdução	235
9.2	Modelo simplificado de oferta de derivados	235
9.3	Cenário Internacional	241
9.3.1	Cenários para o Brasil em 1995	244
	BIBLIOGRAFIA	250

CAPÍTULO X - CONCLUSÃO

10.1	A procura da visão geral	251
10.2	Macro análises	252
10.3	O petróleo	252
10.4	O meio ambiente	253
10.5	Os modelos de demanda	254
10.6	A gasolina e o álcool	254
10.7	O diesel	255
10.8	A geração de termoeletricidade	256
10.9	Uso do gás natural	257

LISTA DE TABELAS

TABELA 2.1	Grau API de petróleo de diversas procedências	6
TABELA 2.2	Composição básica do petróleo, em função do fator K	7
TABELA 2.3	Especificações de gasolina nacional	9 e 10
TABELA 2.4	Especificações para o álcool anidro e hidratado	10
TABELA 2.5	Especificações do óleo diesel	12
TABELA 2.6	Especificações do GLP	13
TABELA 2.7	Especificações do QAV	14
TABELA 2.8	Especificação do Q I	15
TABELA 2.9	Especificações dos óleos combustíveis	15 e 16
TABELA 2.10	Índices técnicos para uma unidade de destilação de 2000 m ³ /d	18
TABELA 2.11	Índices técnicos e econômicos para uma unidade de viscorredução	21
TABELA 2.12	Rendimentos típicos de uma unidade de coqueamento retardado	22
TABELA 2.13	Índices técnico-econômicos de uma unidade de coqueamento retardado	22
TABELA 2.14	Dados técnico-econômicos de uma unidade de reforma catalítica	25
TABELA 2.15	Dados técnico-econômicos de uma unidade de craqueamento catalítico fluído	26 e 27
TABELA 2.16	Parâmetros técnico-econômicos de unidades de hidrotratamento	29
TABELA 2.17	Condições operacionais típicas de unidades de hidrocrackeamento	31
TABELA 2.18	Parâmetros técnico-econômicos de unidade de hidrocrackeamento típica	31
TABELA 2.19	Dados técnicos e econômicos de uma unidade de desasfaltação de	32
TABELA 2.20	Parâmetros técnico-econômicos de uma unidade de alquilação de 1600 ³ /d de capacidade	34
TABELA 2.21	Índices técnico-econômicos de uma unidade produtora de MBTE, de 500 ³ /d de capacidade	36
TABELA 3.1	Produção e preço do petróleo nos EUA	42
TABELA 3.2	Capacidade de refino da Standar Oil do fim do século passado	49
TABELA 3.3	Produção americana e russa de petróleo e querosene	50
TABELA 3.4	Parâmetros econômicos do refino americano no século passado	51
TABELA 3.5	Evolução do custo médio do refino	52
TABELA 3.6	Consumo porcentual de energia nos EUA	55
TABELA 3.7	Vendas anuais de veículos nos EUA	56
TABELA 3.8	Demanda e exportações de derivados de petróleo nos EUA	58
TABELA 3.9	Preços do petróleo e de seus derivados	59
TABELA 3.10	Octanagem da gasolina e taxas de compressão	62

TABELA 3.11	Produção de gasolina por tipo de processo nos EUA	62
TABELA 3.12	Rendimentos comparativos dos dois esquemas de refino	65
TABELA 3.13	Margem de refino médio de 1929 a 1941	66
TABELA 3.14	Margens de refino e preços de petróleo	67
TABELA 3.15	Preços pagos pelo petróleo a países produtores e preço de realização em Roterdan	68
TABELA 3.16	Reservas e consumo de petróleo	69
TABELA 3.17	Preços no período de 1960 a 1971, em US\$/BBL	69
TABELA 3.18	Preços e consumo de alguns derivados	70
TABELA 3.19	Exportação de petróleo da OPEP	71
TABELA 3.20	Consumo mundial de derivados, como porcentagens do consumo de petróleo	72
TABELA 3.21	Consumo de petróleo e energia nos EUA	73
TABELA 3.22	Capacidade de refino de países da Europa	74
TABELA 3.23	Capacidade de refino mundial	74
TABELA 3.24	Alteração no rendimento de uma refinaria do tipo 2 com a introdução de uma unidade de desasfaltação	80
TABELA 3.25	Custos do hidrorefino, em US\$/barril	82
TABELA 3.26	Comparação dos diferentes esquemas de refino	86 e 87
TABELA 4.1	Gases causadores do efeito estufa	93
TABELA 4.2	Emissão de CO ₂ de combustíveis fósseis - 1950 a 1987	93
TABELA 4.3	Países de maior emissão de gases de efeito estufa	94
TABELA 4.4	Renda per capita e consumo de combustíveis fósseis	94
TABELA 4.5	Produção de gasolina nos EUA	101
TABELA 4.6	Limite de emissões de automóveis	102
TABELA 4.7	Comparação da eficiência térmica de um motor operando com gasolina e metanol	104
TABELA 4.8	Comparação da emissão de NO _x em MG/J de um motor operando com gasolina e metanol	105
TABELA 4.9	Comparação da emissão de material não queimado em MG/J de um motor operando com gasolina e metanol	105
TABELA 4.10	Comparação da gasolina e metanol em um motor operando com gasolina e metanol	106
TABELA 4.11	Produção e demanda de metanol - EUA	106
TABELA 4.12	Propriedades de mistura dos compostos oxigenados	108
TABELA 4.13	Produção de MTBE no mundo - em 1000 BPD	108
TABELA 4.14	Índice de octanos e ponto de ebulição de aromáticos	109
TABELA 4.15	Preços históricos e estimados	110
TABELA 4.16	Gasolinas reformuladas	111
TABELA 4.17	Consumo de derivados e álcool 1990	111
TABELA 4.18	Proporção de consumo de gasolina e diesel	112
TABELA 4.19	Produção de gasolina mínima	113
TABELA 4.20	Efeito do etanol no índice de octanos	114
TABELA 4.21	Preço da gasolina em alguns países	115

TABELA 4.22	Comparação de motores á diesel e á gasolina, de um automóvel	117
TABELA 4.23	Crescimento do consumo de médios, em %	117
TABELA 4.24	Efeitos na emissão de poluentes da elevação do ponto final do óleo diesel - ponto 95% variando de 370 para 383 ^o	120
TABELA 4.25	Rendimentos da unidade de craqueamento catalítico	120
TABELA 4.26	Consumo de óleo combustível nos países da comunidade européia	124
TABELA 5.1	Distribuição do consumo de gasolina nos EUA em 1982	129
TABELA 5.2	Índice anual de sobrevivência e consumo anual por veículo	130
TABELA 5.3	Quilometragem específica (QE) e idade média das frotas	134
TABELA 5.4	Séries históricas de dados para o modelo proposto	136
TABELA 5.5	Séries históricas de dados para o modelo proposto	136 e 137
TABELA 5.6	Dados sobre a frota brasileira de automóveis a gasolina	137
TABELA 5.7	Dados sobre a frota brasileira de automóveis a álcool hidratado	137
TABELA 5.8	Quilometragem das frotas à álcool gasolina e total quilometragem em 10 ⁶ km/ano	138
TABELA 5.9	Projeção do número de veículos em circulação - PAUT = 100	138
TABELA 5.10	Projeção do número de veículos em circulação - PAUT = 70	139
TABELA 5.11	Projeção do número total de veículos vendidos no mercado interno por ano	139
TABELA 5.12	Distância média percorrida pelos veículos à gasolina em km/ano	141
TABELA 5.13	Venda anual de automóveis	143
TABELA 5.14	Frota de veículos à gasolina estimada para 1995	143
TABELA 5.15	Consumos específicos CE em km/l	144
tabela 5.16	Frota de veículos à álcool estimada para 1995	144
TABELA 5.17	Projeções da demanda de álcool e gasolina para 1995	145 e 146
TABELA 5.18	Consumo setorial e total de óleo diesel em 1000 m ³ /ano	148
TABELA 5.19	Fatores econômicos relacionados ao consumo de diesel	148
TABELA 5.20	Dados da frota de ônibus e caminhões	149
TABELA 5.21	Parâmetros das equações (5.19) à (5.23)	150
TABELA 5.22	Comparação do consumo estimado e real de diesel na agricultura	152
TABELA 5.23	Consumo de diesel real e o estimado para o setor rodoviário	153

TABELA 5.24	Comparação do consumo estimado com o observado em 1000m ³ /ano	154
TABELA 5.25	Principais parâmetros do consumo de óleo combustível	155
TABELA 5.26	Parâmetros das equações (5.30), (5.31) e (5.32)	156
TABELA 5.27	Comparação da demanda projetada com consumo de óleo combustível	157
TABELA 5.28	Principais parâmetros da demanda de GLP	158
TABELA 5.29	Parâmetros das equações (5.34) a (5.39)	159
TABELA 5.30	Parâmetros da equação (5.40) e (5.41)	160
TABELA 5.31	Consumo de energia residencial por classe de (1974 a 1975)	161
TABELA 5.32	Estimativas de consumo per capita de GLP	162
TABELA 6.1	Estrutura de preços de 07/12/89 - US\$/M ³	168
TABELA 6.2	Composição do preço da gasolina e do derivado médio (estrutura de preços de 07/12/89-US\$/M ³)	168
TABELA 6.3	Estrutura de preço de 10/01/91 - US\$/M ³	169
TABELA 6.4	Dúvida da união para com a PETROBRÁS	170
TABELA 6.5	Gasolina substituída por álcool e valorização	171
TABELA 6.6	Arrecadação em dólar (1987)/M ³ do álcool e gasolina	172
TABELA 6.7	Perda de arrecadação face a substituição da gasolina	172
TABELA 6.8	Comparação da receita da gasolina exportada com o mercado interno	173
TABELA 6.9	Estimativa do incentivo tributário ao veículo à álcool	174
TABELA 6.10	Fatores de desconto do IPVA para veículos à álcool	176
TABELA 6.11	Estimativa dos incentivos do IPVA do carro à álcool	176
TABELA 6.12	Importações de produtos oxigenados pela PETROBRÁS	177
TABELA 6.13	Dióxido de carbono não emitido de 1980 a 1990	178
TABELA 6.14	Avaliação de custos da substituição da gasolina	179
TABELA 6.15	Preços de gasolina e petróleo em US\$/barril importado	180
TABELA 6.16	Preços prováveis da gasolina ao consumidor	181
TABELA 7.1	Reservas e consumo de petróleo	184
TABELA 7.2	Reservas estimadas de petróleo em 2010 em 10 ⁹ barril	184
TABELA 7.3	Consumo de petróleo e energia nos EUA	185
TABELA 7.4	Projeções com as equações (7.1) e (7.2)	186
TABELA 7.5	Preços e consumo de alguns derivados nos EUA	187
TABELA 7.6	Consumo mundial de derivados de petróleo em porcentagem	188
TABELA 7.7	Parâmetros da equação (7.3)	188
TABELA 7.8	Parâmetros da equação (7.4)	189
TABELA 7.9	Consumo máximo de gasolina dos veículos americanos	190

TABELA 7.11	Parâmetros das equações do preço do óleo diesel	193
TABELA 7.12	Parâmetros da correlação do preço ao atacado da gasolina	194
TABELA 7.13	Parâmetros da correlação de preço ao consumidor da gasolina	194
TABELA 7.14	Projeções de preços do diesel e gasolina em função do preço do petróleo US\$/BBL	195
TABELA 7.15	Preços no período de 1960 a 1971	196
TABELA 7.16	Parâmetros da equação (7.11)	197

TABELA 8.1	Custos diversos do transporte rodoviário na Europa	202
TABELA 8.2	Preços de alguns energéticos em setembro/92 - US\$/BBL	203
TABELA 8.3	Custos de produção do álcool para São Paulo em 1983	205
TABELA 8.4	Emissões veiculares em G/km	207
TABELA 8.5	Emissões do Ford Fiesta 2 tempos e limites da Califórnia - EUA	208
TABELA 8.6	Perdas de milhões de US\$ pelo menor IPVA e IPI do carro à álcool	208
TABELA 8.7	Comparação da situação atual com a proposta de carros regulados para teores até 10% de álcool anidro	209
TABELA 8.8	Efeitos da substituição de gás - comparação com o preço da gasolina	211
TABELA 8.9	Uso do gás - custos comparativos e consumo de energia primária - base: petróleo 20,00 US\$/BBL	212
TABELA 8.10	Comparação do uso do gás em diferentes formas em veículos	213
TABELA 8.11	Custos do aumento da produção por M ³	216
TABELA 8.12	Preços internacionais dos derivados em 21/09/92	216
TABELA 8.13	Consumos de energia	217
TABELA 8.14	Eficiências para produção de gasolina e energia elétrica	217
TABELA 8.15	Custos de hidrodessulfurização do diesel	218
TABELA 8.16	Composição dos custos de transporte e redução com uso do gás	221
TABELA 8.17	Consumo de diesel, população (A) e frota de ônibus	222
TABELA 8.18	Parâmetros sugeridos para o cálculo do consumo de diesel	222
TABELA 8.19	Consumo de diesel nas regiões com novos gasodutos	223
TABELA 8.20	Comparação do transporte urbano em ônibus elétrico	226
TABELA 8.21	Geração de energia elétrica por combustíveis fósseis	230
TABELA 8.22	Geração de energia elétrica: ultraviscosos e ciclo diesel	231
TABELA 9.1	Rendimentos do petróleo e das correntes intermediárias	236 e 237

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1	Produtos aromáticos típicos	5
FIGURA 2.2	Destilação: a unidade, os principais processos e produtos.	18
FIGURA 2.3	Esquema da unidade de viscorredução	20
FIGURA 2.4	A unidade de coqueamento retardado	22
FIGURA 2.5	Esquema da unidade de reforma catalítica	24
FIGURA 2.6	Esquema do processo de craqueamento catalítico de leito fluidizado (FCC)	26
FIGURA 2.7	Unidade de hidrotratamento	29
FIGURA 2.8	Fluxograma de uma unidade de alquilação	34
FIGURA 2.9	Representação esquemática de uma unidade produtora de MTBE	36
FIGURA 3.1	Refinaria padrão da 1ª fase	46
FIGURA 3.2	Esquema de refino nº 1, típica da 2ª fase	64
FIGURA 3.3	Esquema de refino nº 2, típica da 2ª fase	65
FIGURA 3.4	Esquema de refino tipo 3, evolução da refinaria típica nº 1	84
FIGURA 3.5	Esquema de refino nº 4, evolução da refinaria típica nº 2	85
FIGURA 5.1	Inter-relações dos principais parâmetros do consumo de álcool e gasolina	142

TABELA 9.2	Opções do refino para 1995 no Brasil	241
TABELA 9.3	Cenários internacionais para o petróleo e derivados	242
TABELA 9.4	Cenário Inercial para 1995 - petróleo a 20,00 US\$/BBL	245 e 246
TABELA 9.5	Efeito da importação de gás natural	248
TABELA 9.6	Efeitos da eletrificação do transporte urbano	249

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

1.1 OS PROBLEMAS ATUAIS DO REFINO DE PETRÓLEO NO BRASIL

O refino do petróleo surgiu em 1860 nos Estados Unidos para produzir o querosene iluminante, então, chamado de petróleo refinado. Iniciou-se, então, uma importante atividade, de grande influência nas atividades econômicas de um país.

Os rumos da evolução da produção dos derivados de petróleo foram determinados pelas mudanças verificadas no mercado consumidor, em termos de qualidade e quantidades consumidas, e pelo próprio desenvolvimento da tecnologia do refino.

Portanto, a evolução do refino de petróleo ocorreu de maneira diferenciada no mundo, porque os países tiveram diferentes necessidades e recursos. Mas é comum o objetivo de adequar o refino às necessidades de derivados de um país, da forma mais econômica. Objetivo este que quando não atingido, poderá influenciar negativamente a economia de um país.

De uma forma resumida, se pode afirmar que a preocupação básica do refino de petróleo é o atendimento do mercado consumidor de derivados de petróleo, em termos quantitativos e qualitativos, da maneira mais econômica possível.

O Brasil apresenta algumas peculiaridades em termos de consumo de derivados de petróleo. Há um grande consumo de gás liquefeito de petróleo (GLP), um baixo consumo de gasolina, e um alto consumo de óleo diesel, em relação ao petróleo consumido no país. Na impossibilidade de se ajustar a produção de derivados de petróleo ao seu mercado interno, recorre-se ao mercado externo.

É claro que o mercado externo pode apresentar, em algumas situações, boas possibilidades de ganhos. Porém, quando se encontra um forte desequilíbrio entre a produção e o consumo, o ajuste via exportação ou importação ocorrerá a preços ditados pela conjuntura mundial do momento. Um exemplo disto são os excedentes de gasolina no Brasil, que são exportados em condições pouco favoráveis.

Por outro lado, há uma tendência internacional de se aumentar as exigências de qualidade dos derivados de petróleo, tendo em vista a preocupação crescente com o meio ambiente. O atendimento dos novos padrões de qualidade exigirá investimentos no refino e tenderá a aumentar os custos de produção dos derivados.

1.2 OBJETIVOS DA DISSERTAÇÃO

O refino de petróleo, na medida em que evolui para atender as necessidades do mercado consumidor, é influenciado pela oferta de outros energéticos. Na situação atual do Brasil a produção de derivados é bastante influenciada pela disponibilidade de álcool motor, pela disponibilidade e preço de energia elétrica, por uma possível produção de energia elétrica utilizando-se derivados de petróleo, e pela disponibilidade e tipo de uso dado ao gás natural.

A evolução do mercado consumidor de derivados de petróleo depende ainda de fatores de natureza macro-econômica, como o crescimento da economia, e a intensidade energética dos setores responsáveis por esse crescimento.

O mercado de derivados de petróleo pode ser orientado para perfis de consumo mais econômicos, via mecanismos de preço ou de substituição por produtos alternativos. Como exemplo, pode ser citado, o programa de incentivo ao uso de óleos combustíveis ultra viscosos e o uso de gás natural em ônibus.

Há ainda outros fatores que influenciam o refino. Em grau de importância, ao lado do perfil de consumo, pode-se citar a qualidade exigida dos derivados, função da legislação vigente, sobre os impactos no meio ambiente. Outros fatores importantes são a tecnologia disponível para a atividade de refino e os custos das unidades de refino. De um modo geral, as unidades mais modernas e adequadas à atual conjuntura exigem elevados investimentos.

O ajuste entre produção e mercado interno de derivados de petróleo pode ser feito utilizando-se o mercado externo, ou seja, pela importação e exportação de derivados. Esta solução pode ser um ônus econômico, dependendo da conjuntura internacional. Do ponto de vista estratégico, grandes excedentes de um derivado podem condicionar toda a atividade de refino ao fato de se encontrar compradores do derivado em excesso.

O refino pode ser orientado no sentido de produzir uma maior quantidade de um determinado derivado, em relação ao petróleo processado, mas este "aumento" têm limites tecnológicos e nem sempre é economicamente viável.

O objetivo deste trabalho é analisar algumas alternativas para o atendimento do mercado nacional de derivados de petróleo, a fim de se adotar a mais viável economicamente. Para isto, para o ano de 1.995, utilizado como referencial, elabora-se alguns cenários e sugere-se certas alterações na atual estrutura de refino, bem como alguns programas de atuação no mercado consumidor.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Praticamente inicia-se o trabalho apresentando-se um resumo técnico do petróleo e da obtenção dos derivados. A seguir apresenta-se a evolução do refino do petróleo desde o surgimento até os dias atuais. Neste capítulo, sugere-se uma divisão histórica em três fases, em cada uma delas há um tipo de organização, um produto principal, analisa-se a lucratividade do refino em cada fase.

No capítulo 4 apresenta-se as principais mudanças que estão sendo exigidas dos derivados, com especial ênfase aos produtos oxigenados.

No capítulo 5 fez-se uma revisão dos principais tipos de modelos usados para a projeção da demanda de derivados, inclusive comenta-se alguns modelos publicados. Apresenta-se um modelo completo para o consumo de gasolina e álcool, um modelo para o óleo diesel, um modelo para óleo combustível, e finalmente para o GLP.

O capítulo 6 mostra uma aplicação do capítulo anterior. Com base nos dados utilizados nos modelos, fez-se um estudo da fixação dos preços dos derivados de petróleo, e com base no preço do álcool, e outros subsídios, calculou-se a perda de arrecadação de impostos utilizadas para incentivar o PROÁLCOOL.

No capítulo 7, discute-se mercado internacional de petróleo e seus derivados, destacando-se, as correlações dos preços do petróleo com o preço da gasolina e do diesel. Mostra-se também um modelo simplificado para prever a demanda de gasolina nos EUA com base no preço do petróleo.

No capítulo 8, sugere-se alguns programas para otimizar o uso dos derivados de petróleo, álcool e gás natural. Apresenta-se alguns custos do atendimento do mercado, comparado ao do plano alternativo.

No capítulo 9, apresentam-se cenários para 1995, comenta-se a adequação para aquele cenário, dos programas propostos, bem como a economia propiciada.

Finalmente chega-se a conclusão da dissertação no capítulo 10, reforçando as teses levantadas ao longo da dissertação, principalmente quanto a necessidade de atuar na demanda de diesel e diminuir os subsídios ao PROÁLCOOL.

CAPÍTULO II

O REFINO DO PETRÓLEO

2.1 O PETRÓLEO

Entende-se por petróleo o líquido negro esverdeado, provavelmente formado por decomposição de matérias orgânicas, de origem marinha, entre camadas de rochas sedimentares e aprisionado em rochas impermeáveis. O nome petróleo está ligado à origem do produto, ou seja, óleo da rocha^{2.1}.

O petróleo bruto é uma mistura de um número muito grande de substâncias, destacando-se os diversos tipos de hidrocarbonetos. Em média, a percentagem de hidrogênio varia de 11 a 14% e a de carbono de 83 a 87%. Há ainda outros produtos considerados como contaminantes, destacando-se, principalmente, os compostos de enxofre, como o sulfeto de hidrogênio, os mercaptans, os sulfetos e os dissulfetos. Há, ainda, metais, como o ferro, o níquel e o vanádio, e alguns compostos nitrogenados e oxigenados.

2.1.1 OS HIDROCARBONETOS DO PETRÓLEO

De um modo geral, os hidrocarbonetos presentes no petróleo são classificados segundo as seguintes famílias:

a) Parafinas

As parafinas são compostos de fórmula química do tipo C_nH_{2n+2} . Podem ser compostos lineares como o normal heptano (C_7H_{16}), ou ramificado como o isooctano (C_8H_{18}). De um modo geral são produtos bastante estáveis do ponto de vista químico, de ponto de ebulição relativamente baixo e variável com o peso molecular; por exemplo, o metano (CH_4) possui peso molecular 16 e é gás temperatura ambiente, enquanto o pentatriacontano ($C_{35}H_{72}$), com peso molecular 492,3, tem um ponto de ebulição de 339°C (FIESER, 1967).

b) Olefinas

Estes produtos são assim chamados devido à existência de uma dupla ligação carbono-carbono. São, portanto, compostos insaturados de fórmula geral C_nH_n . De um modo geral, as olefinas não estão presentes no petróleo bruto, mas aparecem nos produtos refinados, como consequência de alguns processos de produção.

2.1 Do latim petro + oleum.

As olefinas têm propriedades físicas muito próximas das parafinas equivalentes, mas são muito mais reativas quimicamente. Reagem com outras olefinas formando "gomas", que são compostos de grande peso molecular. Reagem também com o oxigênio.

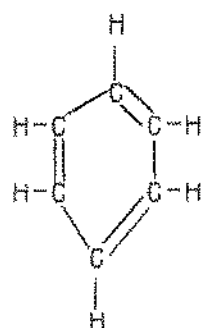
c) Produtos naftênicos ou cicloparafinas

Estes são compostos cíclicos de mesma fórmula que as olefinas, porém de características bastante diferentes. São compostos saturados, daí serem chamados de cicloparafinas.

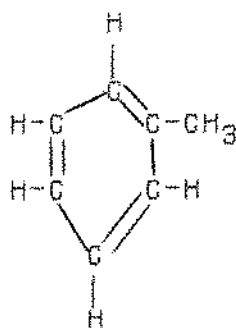
Parte significativa do petróleo é constituída de compostos naftênicos, quase que exclusivamente derivados do ciclohexano (C_6H_{12}) e do ciclopentano (C_5H_{10}), isto é, compostos com um núcleo cíclico e várias cadeias laterais, que substituam átomos de hidrogênio do ciclohexano ou ciclopentano.

d) Produtos aromáticos

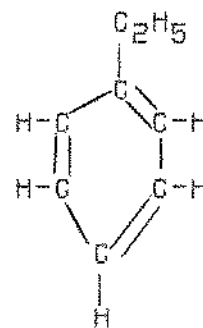
Estes produtos são principalmente compostos de estrutura similar à do benzeno, ou seja, hidrocarbonetos cíclicos de fórmula C_nH_{2n-6} (Figura 2.1).



C_6H_6
BENZENO



C_7H_8
TOLUENO



C_8H_{10}
ETIL-BENZENO

Figura 2.1 - Produtos aromáticos típicos

São, portanto, compostos insaturados, mas com uma peculiaridade: as duplas ligações não são fixas, ou seja, são compartilhadas pelos seis átomos de carbono do núcleo. Esta é a principal característica dos compostos aromáticos, que justifica uma série de outras características, como por exemplo o fato que apesar de serem compostos insaturados como as olefinas, o núcleo aromático é muito mais estável.

e) Asfaltenos

Estes compostos tem sido estudados mais recentemente. São, na realidade, macro moléculas complexas de grande peso molecular e alto ponto de ebulição. Após o refino do petróleo, os asfaltenos são encontrado principalmente no óleo combustível e nos asfaltos.

2.1.2 CARACTERIZAÇÃO DO PETRÓLEO

O petróleo pode conter até 3000 tipos de compostos. Assim, desde que o petróleo tornou-se uma importante mercadoria, houve a necessidade de se definir parâmetros que permitissem estimar a quantidade e a qualidade dos produtos obtidos no refino. A seguir, descreve-se resumidamente os parâmetros mais importantes.

(i) Grau API

Esta é uma medida de densidade desenvolvida pelo Instituto Americano de Petróleo (NELSON, 1959, p.21). é calculada de acordo com a equação (2.1).

$$\text{Grau API} = 141.5/d(15,6^{\circ}\text{C}) - 131,5 \quad (2.1)$$

Sendo $d(15,6^{\circ}\text{C})$ a relação mássica de um mesmo volume de petróleo com a água na temperatura de $15,6^{\circ}\text{C}$.

Apesar do grau API indicar apenas a densidade do petróleo, de um modo geral um petróleo de alto grau API, ou seja baixa densidade, produzem bastante diesel e naftas, e pouco óleo combustível, têm portanto maior valor comercial.

TABELA 2.1
GRAU API DE PETRÓLEO DE DIVERSAS PROCEDÊNCIAS

GRAU API	PRODUÇÃO, EM %, EM 1956		
	EUA	VENEZUELA	ARÁBIA SAUDITA
INFERIOR A:			
10	-	1,0	
15	1,0	9,1	
20	4,0	41,3	
25	11,3	47,7	
30	23,4	65,8	1,5
35	52,0	85,7	32,5
40	83,0	97,1	99,8
45	96,0		
MÉDIA	34,7	25,3	35,8

Fonte : (NELSON, 1959).

(ii) Destilação "Ponto de Ebulição Verdadeiro" (PEV).

é o mais importante parâmetro para o conhecimento técnico dos potenciais de produção de derivados de petróleo. A destilação PEV é obtida em um a coluna de laboratório operando com um número bastante grande de estágios de equilíbrio e com uma

alta razão de reciclo^{2.2}. O petróleo, ou a fração que se queira analisar, é colocado na base do equipamento e vai se aumentando a temperatura e recolhendo o destilado. Obtem-se, assim, uma relação funcional entre temperatura e volume destilado.

O resultado normalmente é expresso em tabelas ou gráficos, fornecidos pelo vendedor do petróleo.

Com uma curva PEV e com conhecimento das especificações dos produtos e unidades de uma refinaria, pode-se estimar a quantidade de cada derivado a ser obtido no refino de um determinado petróleo.

(III) Fator de caracterização K

Um parâmetro que pode ser usado para mostrar uma tendência da composição de um petróleo ou de uma fração qualquer é o fator de caracterização, K, assim definido (NELSON, 1959, p.81):

$$K = (TB^3)/d(15,6 \text{ } ^\circ\text{C}) \quad (2.2)$$

Onde TB = temperatura média, em graus Rankine, do ponto de ebulição molar. A destilação molar é obtida da curva PEV, introduzindo-se a densidade e uma estimativa do peso molecular.

O fator K fornece uma valiosa informação para a caracterização do petróleo, conforme indicado na tabela 2.2. Por exemplo, um petróleo de base parafínica normalmente produz querosene de aviação e óleo diesel de ótima qualidade.

TABELA 2.2
COMPOSIÇÃO BÁSICA DO PETRÓLEO, EM FUNÇÃO DO FATOR K

FATOR K:	BASE DO PETRÓLEO
12.9 A 12.15	Parafínica
12.1 a 11.5	Intermediária
11.5 a 10.5	Naftênica

(IV) Teor de enxofre

Os compostos do enxofre presentes no petróleo , distribuem-se por praticamente todos os derivados. Assim há compostos de enxofre desde o GLP, ao resíduo de vácuo, porém os compostos de enxofre concentram-se mais nas frações de maior densidade e ponto de ebulição, ou seja, nos produtos mais pesados como o resíduo de vácuo.

2.2 Uma torre de destilação é composta por varias seções, onde ocorre o contato líquido com o vapor. A forma geométrica lembra uma bandeja, e assim ficou conhecida. Um estágio de equilíbrio pode se entendido como uma bandeja ou um estágio de uma torre de destilação. Em uma torre de destilação o produto de topo é recirculado para o próprio topo para melhorar a separação dos produtos. Assim a razão de reciclo é a relação entre o produto de topo que retorna , com o produto de topo que sai da torre.

Só as unidades de hidrorefino conseguem diminuir o teor de enxofre dos produtos. Assim em esquemas de refinis que não tenham este tipo de unidade, o teor de enxofre de cada derivado é determinado pelo teor de enxofre do petróleo processado.

Face a necessidade de baixo teor de enxofre das frações médias como o óleo diesel, é bastante comum hidrotratar essas frações. Ao contrário, praticamente não existe unidades de hidrotratamento para o óleo combustível.

(v) Contaminantes

Há uma série de outros compostos presentes no petróleo, destacam-se o vanádio, níquel e o nitrogênio. Os dois primeiros interferem no próprio processamento do petróleo, por desativarem o catalisador da unidade de craqueamento catalítico, e o óleo combustível produzido, se contiver altos teores de níquel e vanádio, eventualmente não poderá ser utilizado em caldeiras, e em alguns fornos industriais.

2.2 CARACTERÍSTICAS E ESPECIFICAÇÕES DOS DERIVADOS DE PETRÓLEO

Entende-se por especificação de um derivado de petróleo o conjunto de propriedades químicas e físicas que garantam a possibilidade do produto ser usado adequadamente em equipamentos similares.

Normalmente as especificações dos derivados de petróleo são estabelecidas após acordos entre produtores do combustível e fabricantes de equipamentos e são responsabilidades de um órgão normativo. Por exemplo, no Brasil este órgão é o Departamento Nacional de Combustíveis- DNC, enquanto nos Estados Unidos é o Instituto Americano de Petróleo - API.

2.2.1 COMBUSTÍVEIS DO CICLO OTTO

Um motor de combustão interna do ciclo Otto é uma máquina que opera segundo um ciclo termodinâmico com as seguintes fases:

- a) Admissão - a mistura combustível/ar é aspirada;
- b) Compressão - a temperatura aumenta por efeito do aumento de pressão;
- c) Ignição - a centelha da vela inicia o processo de combustão, que será bastante rápida;
- d) Descarga - o êmbolo expulsa os gases de combustão.

Os motores do ciclo Otto^{2,3} já foram também chamados de

2.3 Em 1876, Otto, engenheiro alemão, construiu o primeiro motor utilizando este princípio.

motores a explosão, devido ao processo de combustão ser muito rápido e iniciado pela centelha. Hoje prefere-se o uso do termo motor a combustão por centelha, ou motor do ciclo otto.

A principal característica que um combustível deve ter para ser usado no ciclo otto é uma "resistência a auto ignição". Neste tipo de motor, após a admissão da mistura ar-combustível, inicia-se o processo de compressão, aumentando a temperatura e a pressão. É importante que o início da combustão seja deflagrada pela centelha da vela. Se o início da combustão ocorrer antes, provocará o fenômeno chamado "batida de pino", ou seja, forma-se-ão ondas de choques no motor, afetando a sua durabilidade e eficiência.

A medida desta propriedade é feita pela determinação do "índice de octanos". Para isto, usam-se dois combustíveis padrão, o isoctano^{2.4} e o n-heptano. Em motores monocilíndricos compara-se o combustível a ser ensaiado com misturas dos dois produtos. Quando for obtido o mesmo desempenho no motor considera-se o combustível objeto de teste a octanagem da mistura. Por exemplo uma mistura de 80% de isoctanos e 20% de n-heptano corresponde a um índice de octanos igual a 80. Há o índice de octanos motor-10M e o índice de octanos pesquisa-10P. A principal diferença entre eles é o tipo de motor utilizado nos testes.

Outra propriedade importante dos combustíveis do ciclo otto é a volatilidade, que permite caracterizar a partida a frio do motor. Hoje existe uma tendência a limitar a volatilidade desses combustíveis, devido aos efeitos ambientais. A principal medida desta propriedade é a pressão do vapor. O método usado é denominado "Pressão de Vapor Reid", ou PVR.

Nas gasolinas o teor de enxofre é limitado, a fim de minimizar os efeitos ambientais dos gases de combustão.

As especificações de gasolina nacional se encontram na tabela 2.3.

TABELA 2.3
ESPECIFICAÇÕES DE GASOLINA NACIONAL

CARACTERÍSTICAS	GASOLINA TIPO B	GASOLINA TIPO C
COR	AZUL	AMARELA
USO	AVIAÇÃO	AUTOMOTIVO
MISTURA VOLUMÉTRICA DE		
ALCOOL ETÍLICO		
MÁXIMO	0	22
MÍNIMO	0	18
TEMPERATURA MÁXIMA		
DE DESTILAÇÃO EM °C		
10% EVAPORADO	70	70
50% EVAPORADO	140	140
90% EVAPORADO	200	200
100%	220	220
PORCENTAGEM MÁXIMA		
DE RESÍDUOS	2	2
PRESSÃO DE VAPOR	0,7	0,7

2.4 2,2,4 trimetil pentano.

TABELA 2.3 -CONTINUAÇÃO
ESPECIFICAÇÕES DE GASOLINA NACIONAL

CARACTERÍSTICAS	GASOLINA TIPO B	GASOLINA TIPO C
-----------------	-----------------	-----------------

MÁXIMA A 37,8 °C		
EM Kgf/cm ²		
ÍNDICE DE OCTANOS MÍNIMO ^{2.5}	82	80
CORROSIVIDADE MÁXIMA	1	1
(3h, a 50 °C)		
GOMA ATUAL MÁXIMA, EM	5	5
mg/100ml		
PORCENTAGEM, EM PESO,	0,25	0,25
MÁXIMO DE ENXOFRE		
CHUMBO TETRAETILA	0,8	0,8
MÁXIMO, EM ml/l		
PERÍODO DE INDUÇÃO	180	180
MÍNIMO, EM MINUTOS		

O álcool é um combustível típico para motores do ciclo otto, por apresentar alta octanagem. O álcool motor é quase uma substância pura. É composto essencialmente pelo álcool etílico ou etanol^{2.5}. As especificações do álcool etílico hidratado -AEHC procuram garantir o produto em termos de teor máximo de água e outros contaminantes. Há também o álcool etílico anidro-AEAC que se destina à mistura com a gasolina. Na tabela 2.4 apresentam-se as especificações dos dois produtos.

TABELA 2.4
ESPECIFICAÇÕES PARA O ÁLCOOL ANIDRO E HIDRATADO

CARACTERÍSTICAS	UNIDADES	AEAC	AEHC
ACIDEZ TOTAL (EM ÁCIDO ACÉTICO)	MG/L	30 MÁX.	30 MÁX.
APARÊNCIA	-	LÍMPIDO	LÍMPIDO
CONDUTIVIDADE ELÉTRICA	US/M	500 MÁX.	500 MÁX.
ÍONS CLORETO (CL ⁻)	MG/KG	-	1 MÁX.
ÍONS SULFATO (SO ₄ ⁼)	MG/KG	-	4 MÁX.
MASSA ESPECÍFICA A 20 °C	KG/M ³	791,5 MÁX	809,3+/-0,7
MATERIAL NÃO VOLÁTIL A 105 °C	MG/L	30,0	30,0
METAIS : COBRE (CU)	MG/KG	0,07 MÁX	-
FERRO (FE)	MG/KG	-	5 MÁX.
SÓDIO (NA)	MG/KG	-	2 MÁX.
POTENCIAL HIDROGENIÔNICO	(PH)	-	7.0+/-1,0
RESÍDUO POR EVAPORAÇÃO	MG/L	-	50 MÁX.
TEOR ALCÓOLICO (PRODUÇÃO)	INPM	99,3 MÍN.	93,2+/-0,6
TEOR ALCÓOLICO (DISTRIBUIÇÃO)	INPM	-	92,6 A 94,7
TEOR DE GASOLINA	ML/L	-	30 MÁX.

2.5 Octanagem obtida pelo método MB-457, método identico a octanagem motor (IOM).

2.5 C₂H₅OH

2.2.2 ÓLEO DIESEL

O motor a quatro tempos com ignição por compressão, ou motor ICO, foi originalmente idealizado por Rudolph Diesel em 1892, com o objetivo de utilizar combustíveis mais disponíveis (OBERT, 1954).

O motor diesel é muito semelhante ao motor de ciclo otto, mas o início da combustão ocorre quando o combustível injetado à alta pressão encontra o ar aquecido por efeito do processo de compressão. No entanto, o motor diesel opera com uma taxa de compressão em torno de 1:15, enquanto o motor de ciclo otto raramente excede 1:10.

As principais fases do motor ICO a quatro tempos são :

a) Aspiração - o ar puro é aspirado para dentro do cilindro.

b) Compressão - o ar é comprimido e a temperatura aumenta acima da temperatura de auto-ignição do combustível.

c) Ignição do combustível - no início do curso de expansão é injetado o combustível, ocorrendo, então, a queima a pressão constante. Terminada a queima, a expansão prossegue até o ponto morto inferior.

d) Curso de descarga - o êmbolo expulsa de dentro do cilindro os gases de combustão.

A principal característica de um óleo diesel é o poder de auto-ignição. Deseja-se que o produto inicie a combustão e que as reações sejam rápidas para minimizar a descarga de gases ainda não queimados. Atualmente a propriedade que exprime as características de queima é o índice de cetanos relativo ao cetano ou hexadecano^{2.6}. Os testes são feitos em um motor padrão que determina o número de cetanos. Nas refinarias e na especificação do DNC, usa-se uma correlação entre destilação ASTM e densidade, calculando-se o índice de cetanos, que é próximo ao número de cetanos.

Deseja-se, também, que a queima não provoque fumaça e mau cheiro nos gases de combustão. Para tanto, é desejável que as moléculas sejam pequenas ou de tamanho médio; em outras palavras, é necessário algum limite para o ponto final de destilação. No Brasil, o limite têm sido um máximo de 85% de destilado à 370 graus C.

Outra propriedade importante é a densidade, que deve ser limitada a uma faixa, isto porque as bombas injetoras operam com um controle volumétrico. Variando a densidade, varia também a quantidade em massa de combustível.

A viscosidade também é restrita a uma faixa, por razões técnicas ligadas ao processo de nebulização do combustível.

O óleo diesel é constituído principalmente por "parafinas", que tendem a se solidificar a baixas temperaturas. É necessário se controlar este efeito, tendo em vista as partidas a frio. No Brasil controla-se o ponto de névoa, ou seja, a temperatura em que se formam os primeiros cristais de parafinas.

Em outros países é controlado o ponto de entupimento^{2.7}.

A tabela 2.5, abaixo, apresenta as especificações do óleo diesel.

TABELA 2.5
ESPECIFICAÇÕES DO ÓLEO DIESEL

CARACTERÍSTICAS	VALOR ESPECIFICADO
DESTILAÇÃO: 85% EVAPORADOS °C MÁXIMO	370
ÍNDICE DE CETANO(CALCULADO) MÍNIMO	45
VISCOSIDADE EM CENTISTOKE, A 37,8 °C	1.6 a 6.0
RESÍDUO DE CARBONO NOS 10% FINAIS DA DESTILAÇÃO, EM % EM PESO, MÁXIMO	0,30
TEOR DE ENXOFRE,% EM PESO, a MÁXIMO	1,3
PONTO DE FULGOR, °C, MÍNIMO ^{2.8}	
CINZAS,% EM PESO, MÁXIMO	0,02
CORROSIVIDADE A 50 °C, MÁXIMO	(2)
ÁGUA E SEDIMENTOS, %	0,10 ^{2.9}
VOLUMÉTRICA, MÁXIMA	
COR, ASTM, MÁXIMO	3,0
PONTO DE NÉVOA, °C, MÁXIMO ^{2.10}	

2.2.3 GÁS LIQUEFEITO DE PETRÓLEO - GLP

O principal requisito que se deseja do GLP é produzir uma queima limpa, isenta de fuligem e cheiro, uma vez que se destina principalmente à cocção de alimentos, à processos industriais onde o gás de combustão entra em contato com os produtos ou para a indústria de alimentos de um modo geral.

2.7 Temperatura em que se inicia o entupimento de um tubo padrão.

2.8 Só especificado para motores marítimos.

2.9 O produto deve ser lípido à temperatura ambiente.

2.10 Variável, conforme indicado a seguir:

ESTADOS DA FEDERAÇÃO	JANEIRO, FEVEREIRO DEZEMBRO, MARÇO	ABRIL, OUTUBRO NOVEMBRO	DEMAIS MESES
MG,RJ,ES,GO E BRASÍLIA	19	17	13
SP E MG	18	15	11
PR,SC E RS	17	10	9

O GLP é comercializado pressurizado em recipientes com a capacidade de 13 ou 45 kg. é importante que haja vaporização total do produto, a fim de permitir ao consumidor o uso de todo o produto contido no botijão. Esta propriedade é medida pelo intemperismo, ou seja, a temperatura em que 95% do produto já está vaporizado, à pressão de 1 atmosfera.

Outra especificação importante é a pressão de vapor Reid. O nome Reid está ligado ao método de ensaio. A pressão de vapor de uma substância é a pressão que os vapores do produto exercem no recipiente onde está contido o produto, a uma dada temperatura. No caso do GLP, o objetivo é limitar a quantidade de produtos mais leves, que exigiriam maior resistência mecânica dos botijões de GLP.

As principais especificações do GLP estão indicadas na tabela 2.6.

TABELA 2.6
ESPECIFICAÇÕES DO GLP

INTEMPERISMO MÁXIMO	20 °C
PVR (PRESSÃO DE VAPOR REID)	15 kgf/cm ²
MÁXIMO A 37,8 °C	
TEOR DE ENXOFRE VOLÁTIL (g/m ³)	0,36
UMIDADE	ISENTO
CORROSIVIDADE A LAMINA DE COBRE	nº1

O teor de enxofre é limitado para que os gases de combustão sejam isentos de odor desagradável e toxidez. A presença de pequenas quantidades de enxofre no GLP, no entanto, permite que se identifique vazamentos pelo odor. Para odorizar o produto é necessário 12g/m³ de etil mercaptan^{2.11}.

2.2.4 QUEROSENE DE AVIAÇÃO (QAV) E QUEROSENE DE ILUMINAÇÃO (QI)

De todos os derivados de petróleo aquele que têm o maior número de especificações é, sem dúvida, o QAV, devido a não poder haver falhas em um avião.

De um modo geral, as especificações do QVA pretendem garantir a estabilidade do produto em termos de propriedades físicas e químicas.

O ponto de congelamento^{2.11} é limitado para que o fenômeno não ocorra quando o avião estiver à grandes altitudes. Não é desejável, também, que o produto tenha tendência a formar emulsão com a água, carreando-a para dentro dos tanques dos aviões. A propriedade ligada a isto é a tolerância à água.

2.11 C₂H₅SH.

2.11 Temperatura em que o produto passa à fase sólida.

O querosene, ao ser consumido no avião, é submetido a temperatura entre 260 °C e 300 °C, facilitando a formação de borras e outros produtos que podem provocar o "entupimento" de tubulações ou o mau funcionamento de equipamentos de segurança. As principais especificações ligadas a isto são a "estabilidade térmica", ensaio que mede a variação de pressão em um tubo submetido ao escoamento de QAV, e os "depósitos" formados pela combustão do produto.

É também indesejável no produto a presença de enxofre e de seus derivados, principalmente porque estes compostos, quando queimados, formam gases corrosivos. Na especificação do QAV há um limite para a corrosividade da lâmina de cobre, que indica a presença de enxofre elementar; também há limite para os mercaptans, produtos do tipo R-SH onde R representa um radical orgânico, S o enxofre e H o hidrogênio.

O ponto de "fulgor" do derivado também é objeto de controle. Esta propriedade corresponde à temperatura do líquido na qual seus vapores podem dar início ao processo de combustão, bastando para tanto uma fonte de ignição.

Apesar do querosene de iluminação ter especificação diferente do QAV, praticamente todo QAV pode ser comercializado como QI. A recíproca porém não é necessariamente verdadeira.

A única especificação típica do QI é o ponto de fuligem, que é a altura da chama que começa a formar fuligem, obtida em teste realizado em equipamento padrão. Esta especificação se deve a razões históricas, quando o produto era usado basicamente para efeitos de iluminação. Hoje, o principal uso deste derivado de petróleo é na indústria, como solvente de outros derivados, desengraxante, etc...

As principais especificações do QAV e do QI estão relacionadas nas tabelas 2.7 e 2.8, respectivamente.

TABELA 2.7
ESPECIFICAÇÕES DO QAV

ENXOFRE TOTAL, %	0,3
EM PESO MÁXIMO	
ENXOFRE MERCAPTÍDICO	0,001
PONTO DE CONGELAMENTO	-50
EM °C, MÁXIMO	
ESTABILIDADE TÉRMICA	
QUEDA MÁXIMA DE PRESSÃO	0,11
NO FILTRO EM Kgf/cm ²	
DEPÓSITO MÁXIMO NO PRAQUECEDOR	3
TOLERÂNCIA A ÁGUA	
CONDIÇÕES INTER FÁCIAS, MÁXIMA	18
CONDIÇÕES DE SEPARAÇÃO, MÁXIMA	2
PONTO DE FULGOR, EM °C, MÍNIMO	40
DESTILAÇÃO	
10% DE DESTILADO - TEMPERATURA	204
MÁXIMA EM °C	
PONTO FINAL - TEMPERATURA	300
MÁXIMA °C	

TABELA 2.8
ESPECIFICAÇÃO DO QI

CORROSIVIDADE AO COBRE (3 HORAS, MÁXIMO)		1
DENSIDADE A 20/4° C	MÍNIMO	0,760
	MÁXIMO	0,822
ENXOFRE TOTAL, % EM PESO,	MÁXIMO	0,300
PONTO DE FULGOR, EM °C,	MÍNIMO	40
PONTO DE FULIGEM, EM mm,	MÍNIMO	25
VISCOSIDADE A 20° C, EM CST, MÁXIMO		2,7

2.2.5 ÓLEO COMBUSTÍVEL

É o derivado de petróleo que têm o menor número de especificações. A sua propriedade mais importante é a viscosidade, porque para que a combustão ocorra de forma adequada é necessário "atomizar" ou "nebulizar" o produto, e para tanto a sua viscosidade deve ser compatível com a especificação do equipamento de combustão. No Brasil, atualmente, são comercializados óleos de diferentes viscosidades.

Outra propriedade importante é o teor de enxofre, por seus impactos ambientais e pela corrosão que pode causar nos equipamentos de combustão. São comercializados dois tipos principais de óleo combustível, os de baixo teor de enxofre (BTE), cujo limite de enxofre é de 1,0% em peso, e os de alto teor de enxofre (ATE), cujo limite é de 5,5% em peso, de enxofre^{2.12}

Nos óleos combustíveis ATE especifica-se, também, o ponto de fluidez, ou seja a temperatura em que o produto começa a "fluir" em um tubo de ensaio. Antigamente os óleos ATE, hoje identificados pela letra A, eram comercializados apenas com uma viscosidade e conhecidos como "Baixo Ponto de Fluidez"-BPF.

As principais especificações dos óleos combustíveis se encontram na tabela 2.9.

TABELA 2.9 ESPECIFICAÇÕES DOS ÓLEOS COMBUSTÍVEIS		
TIPO	TIPO	VISCOSIDADE A 50° C
ATE	BTE	SSF
1A	1B	600
2A	2B	900
3A	3B	2000
4A	4B	10000
5A	5B	30000
6A	6B	90000
7A	7B	300000
8A	8B	1000000
9A	9B	4000000

2.12 Excessão feita ao óleo 1A, cujo limite é 5%.

TABELA 2.9 - CONTINUAÇÃO
ESPECIFICAÇÕES DOS ÓLEOS COMBUSTÍVEIS

	ATE	BTE
TEOR DE ENXOFRE	5.5% PESO ^{2.13}	1.0% PESO
ÁGUA E SEDIMENTOS	2.0% PESO	2.0% PESO
PONTO DE FULGOR	66 °C	66 °C
PONTO DE FLUIDEZ ^{2.14}	15 a 27 °C	-

2.2.6 OUTROS DERIVADOS DE PETRÓLEO

2.2.6.1 NAFTAS PETROQUÍMICAS

Hoje, as naftas petroquímicas são produtos de grande importância, uma vez que seu consumo constitui 10% do consumo total de derivados de petróleo do país. Elas são matérias primas de uma série de processos industriais, como a fabricação de eteno, produto básico da indústria petroquímica, fabricação de produtos aromáticos, como fenol e tolueno, produção de gás canalizado, etc. De acordo com o processo industrial em que são utilizados, há uma especificação para as naftas. De um modo geral, deseja-se produtos de baixo ponto de ebulição, baixo teor de enxofre e isentos de impurezas, metálicas em particular.

É importante ressaltar que as naftas petroquímicas não são especificadas pelo DNC. As propriedades ou características são estabelecidas de acordo com as necessidades específicas de cada processo petroquímico. Assim diferentes indústrias podem consumir naftas de diferentes propriedades.

2.2.6.2 ASFALTOS

Os asfaltos são derivados similares aos óleos combustíveis, sendo que suas especificações são determinadas pelo tipo de uso. Assim, cada aplicação tem necessidade de um tempo de cura, dureza, etc.

2.2.6.3 AGUARRÁS E SOLVENTES DE BORRACHAS

A aguarrás é um derivados da faixa de destilação intermediária do querosene e das naftas. Pode ser considerado como um querosene leve. As especificações da aguarrás refletem uma forte preocupação com a estabilidade e pureza do produto.

Os solventes, são produtos da faixa de destilação das naftas, as especificações garantem também a estabilidade e a pureza do produto.

2.13 Com exceção dos tipos 1A e 2A, que possuem um limite de 5%.

2.14 Variável de acordo com a região e época do ano.

2.2.5.4 ÓLEOS LUBRIFICANTES

Os óleos lubrificantes comercializados são misturas de óleos lubrificantes básicos, derivados do petróleo, e uma série de aditivos.

O refino produz, a partir do petróleo e esquemas de refino adequados, quatro tipos de lubrificantes básicos: cilindro leve, cilindro pesado, neutro e spindle.

O refino de lubrificantes, apesar de utilizar as mesmas unidades de processo empregadas na produção de outros combustíveis, apresenta algumas diferenças. Por exemplo, há um grande número de processos de pequena capacidade.

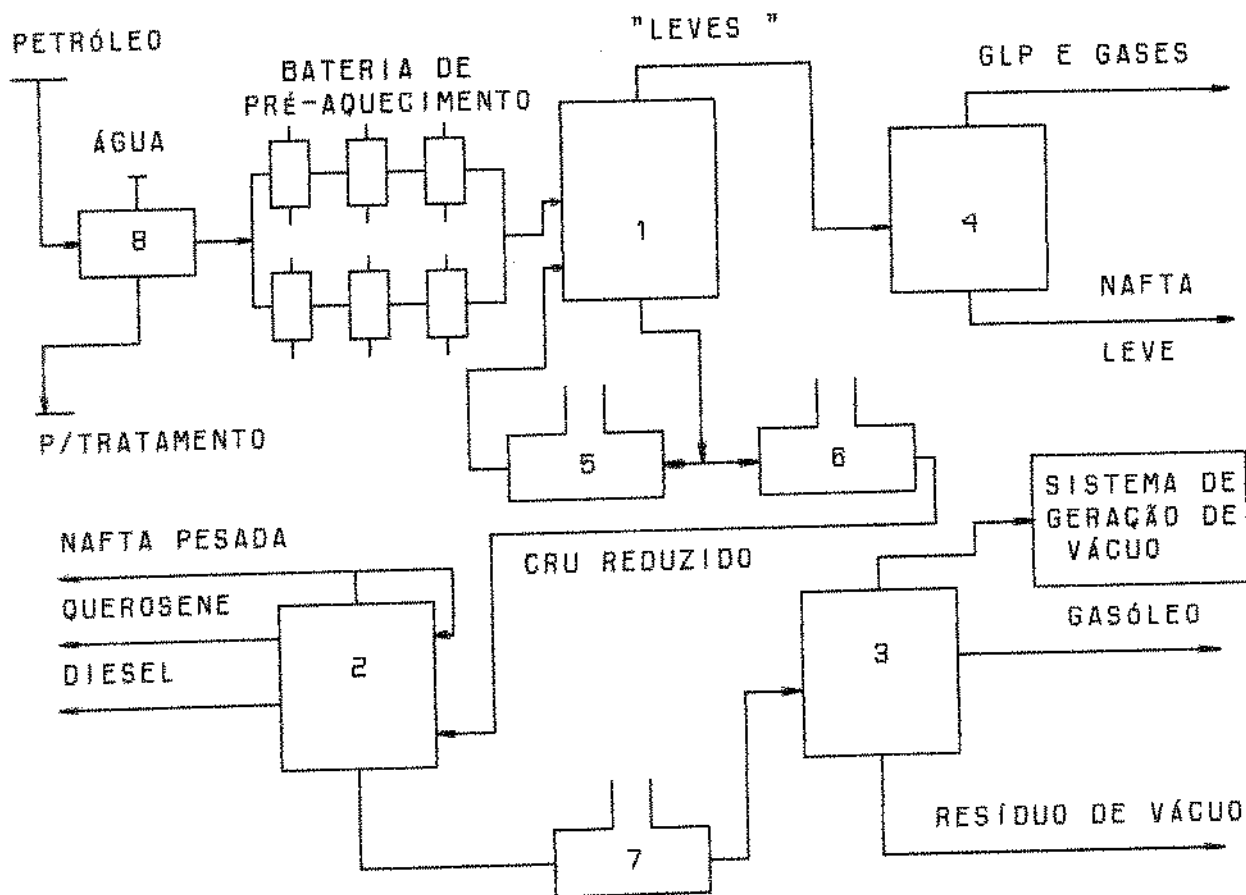
Neste trabalho não se entrará no mérito da produção e mercado de lubrificantes, porque apesar de ser uma atividade importante, representa pouco em termos quantitativos.

2.3 A DESTILAÇÃO

Conforme discutido nas seções anteriores, o petróleo é um produto composto por um número muito grande de substâncias. Por outro lado, cada derivado de petróleo deve atender a um conjunto de características ou "especificações do produto".

O primeiro processo industrial associado ao refino de petróleo é a "destilação", ou seja, a separação de componentes de diferentes pontos de ebulição. É importante ressaltar que a destilação é um processo físico e, portanto, não altera as propriedades do petróleo processado. Assim, um petróleo com muito enxofre, após o processo de destilação dará origem a derivados com muito enxofre. Um petróleo muito parafínico dará origem a derivados parafínicos.

A idéia básica do processo de destilação é a separação de correntes de diferentes pontos de ebulição. A seguir na figura 2.6 mostra-se uma unidade de destilação semelhante às unidades da PETROBRÁS. O petróleo é recebido em tanques e bombeado para a unidade de destilação. O primeiro processo aplicado ao petróleo é a dessalgação, onde o petróleo é misturado com água e submetido a um campo elétrico, que facilita a separação água-óleo. O petróleo passa então pela bateria de pré aquecimento, onde troca calor com os produtos. A seguir o petróleo vai para a primeira torre, onde as frações leves são separadas, e enviadas para outra torre, separando-se a nafta leve das correntes de GLP e gases. Estes são submetidos a novo processo de separação em unidades de recuperação de gases. O petróleo que sai do fundo da primeira torre é chamado de "crú reduzido", passa por um forno para receber energia, seguindo para a segunda torre de destilação, chamada de atmosférica ou torre principal. Nesta, são separados a nafta pesada, o querosene e o diesel. O produto de fundo é chamado de resíduo atmosférico, que passará por um forno para receber mais energia e enviado para a torre de vácuo. Assim chamada por operar em baixa pressão. Separa-se então os últimos produtos, o gasóleo que é enviado normalmente para as unidades de craqueamento catalítico e o resíduo de vácuo, normalmente utilizado para produção de óleo combustível.



PRINCIPAIS EQUIPAMENTOS E PROCESSOS

- 1- Torre de pré-vaporização
- 2- Torre atmosférica ou principal
- 3- Torre de vácuo
- 4- Torre estabilizadora de nafta
- 5- Forno "reboiler" da torre de pré-vaporização
- 6- Forno de carga da torre atmosférica
- 7- Forno de carga da torre de vácuo
- 8- Processo de dessalgação

Figura 2.2 - Destilação : a unidade, os principais processos e produtos. Dados técnicos típicos constam na tabela 2.10.

TABELA 2.10
ÍNDICES TÉCNICOS PARA UMA UNIDADE DE DESTILAÇÃO DE 20000 m³/d

CUSTO UNITÁRIO: 8500 A 11300 US\$/m³
 CONSUMO DE ÓLEO: 10 A 20 Kg óleo/m³ carga
 CONSUMO DE ENERGIA: 9,50 Kwh/m³
 CONSUMO DE VAPOR 3 Kgf/m²: 20 a 50t/1000m³

Fonte: (HYDROCARBON, 1987)

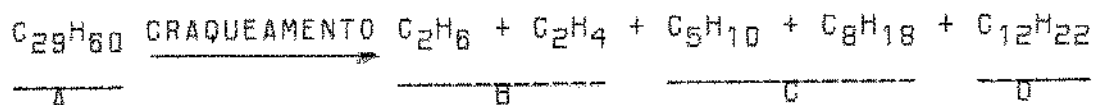
2.4 A CONVERSÃO TÉRMICA

No princípio deste século, a gasolina, que já foi considerado um sub produto do refino de petróleo, torna-se o principal produto. Verificou-se, então, que a porcentagem de 10 a 15% de gasolina, obtida na destilação do petróleo, não era suficiente para atender o mercado.

O craqueamento térmico, que já vinha sendo pesquisado desde 1872 (NELSON, 1959, p. 626), surge como uma rota de refino bastante adaptada para esta situação. O objetivo das unidades de craqueamento térmico que foram construídas principalmente entre 1910 e 1920, era produzir gasolina a partir de produtos mais pesados, como o óleo diesel, e o resíduo atmosférico.

O princípio básico dos processos de "craqueamento térmico" é a quebra de grandes moléculas, formando moléculas menores por efeito da elevação de temperatura. Para alguns tipos de hidrocarbonetos a temperatura de 400°C já é suficiente para promover o craqueamento. Após o craqueamento, os produtos formados são separados em torres de destilação.

Uma reação típica de craqueamento está indicada abaixo.



A - Produto da faixa de destilação do resíduo atmosférico.

B - Gases à temperatura ambiente.

C - Produtos da faixa de destilação da gasolina.

D - Produtos da faixa de destilação do óleo diesel.

Com os processos térmicos, o rendimento de gasolina aumentou bastante. Por outro lado, a gasolina oriunda do craqueamento térmico tem maior octanagem que a gasolina obtida por destilação. Assim, algumas refinarias foram orientadas quase que exclusivamente para a produção de gasolina.

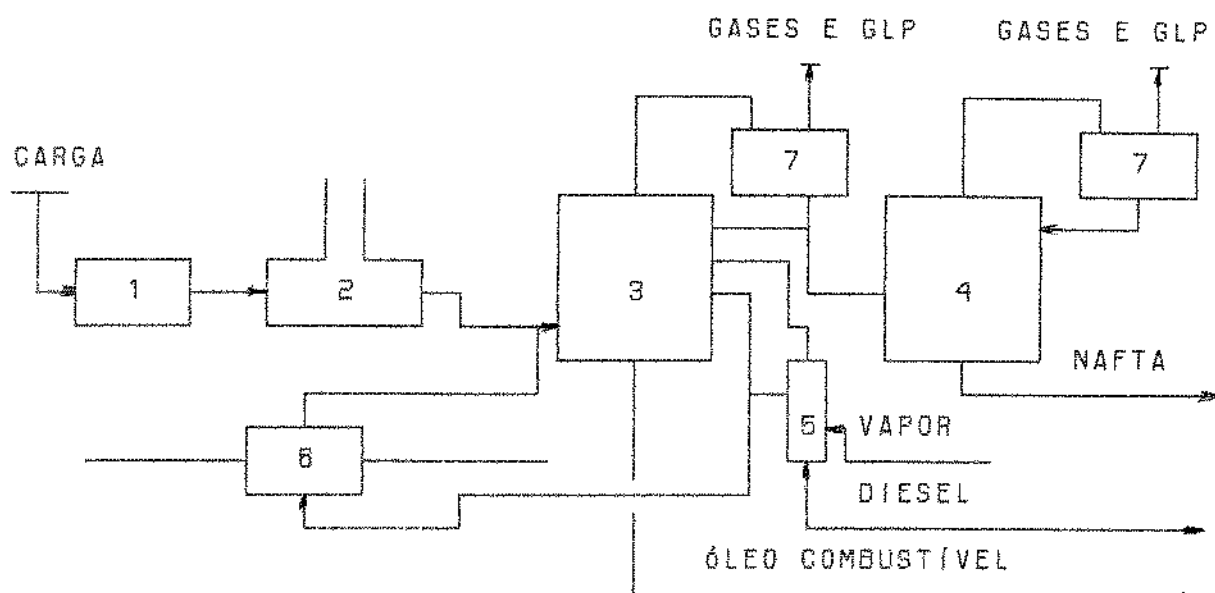
Apesar do avanço tecnológico representados pelos processos térmicos, havia alguns problemas significativos. O primeiro, sem dúvidas, era a produção de coque, que obrigava a frequentes paradas das unidades; outro problema era a necessidade de elevadas pressões no processo, requerendo, portanto, equipamentos de grande espessuras e alto custo.

Devido a estes problemas, o craqueamento térmico entrou em desuso, cedendo lugar aos processos de craqueamento catalítico. Hoje, ainda são usados basicamente dois processos industriais cuja base é o craqueamento térmico. São eles a viscorredução e o coqueamento retardado.

2.4.1 A VISCORREDUÇÃO

O objetivo da viscorredução é diminuir a viscosidade dos resíduos de vácuo (RV) e resíduos atmosféricos (RA), por um processo de craqueamento térmico de severidade média, produzindo, também, derivados da faixa de destilação do GLP, gasolina, diesel e gasóleo.

Os principais equipamentos de uma unidade de viscorredução são: tambor de carga, forno, fracionador, estripagem de gasóleo e estabilizadora de nafta. Eles estão indicados na planta esquemática da figura 2.3.



PRINCIPAIS EQUIPAMENTOS E PROCESSOS

- 1- Tambor de carga
- 2- Forno de viscorredução
- 3- Torre de viscorredução
- 4- Torre estabilizadora de nafta
- 5- Estripagem de diesel de viscorredução
- 6- Resfriador com fluido do processo
- 7- Condensadores de topo
- 8- Processo de dessalgação

Figura 2.3 - Esquema da unidade de viscorredução

A tabela 2.11 apresenta dados técnico-econômicos, de uma unidade de viscorredução típica, de 40000 barris/dia.

Os rendimentos deste tipo de unidade dependem muito do tipo de carga, da temperatura de operação do forno e da pressão da unidade.

A rentabilidade depende também do aproveitamento a ser dado aos produtos. No exemplo da tabela 2.10, tanto a nafta quanto o gasóleo leve não podem ser comercializados como gasolina e diesel, principalmente devido ao elevado teor de enxofre, mas podem ser aproveitados no "pool" desses produtos.

Outra questão importante é a manutenção destas unidades. Há um relato (RAMIREZ, 1982) sobre uma unidade de viscorredução operando com resíduo asfáltico, que opera, em média, 100 dias e fica 22 dias em manutenção. Isto é necessário principalmente para a remoção do coque formado.

TABELA 2.11

ÍNDICES TÉCNICOS E ECONÔMICOS PARA UMA UNIDADE DE VISCORREDUÇÃO

TEMPERATURA APÓS O FORNO: 450 a 480°C
PRESSÃO DE OPERAÇÃO: 14 a 30 kgf/cm²
CARGA TÍPICA: resíduo de vácuo API = 7,1
%S = 4,0
visc cst a 50°C = 50000

PRODUTOS	% PESO	° API	%S
H ₂ S	0,2	-	
GASES	1,0	-	
GLP	1,7	-	
C ₅ A 170°C (nafta)	5,5	59,5	0,60
170 A 350°C (diesel)	13,1	34,8	1,4

CONSUMO DE UTILIDADES/1000m³.

ÓLEO COMBUSTÍVEL	16M ³
ELETRICIDADE Kwh	4403
EXPORTAÇÃO DE VAPOR	142t
CONSUMO DE ÁGUA DE REFRIGERAÇÃO	340m ³

Fonte : (HYDROCARBON, 1988)

2.4.2 COQUEAMENTO RETARDADO

O objetivo do coqueamento retardado é diminuir a produção de óleo combustível de uma refinaria, aumentando a produção de derivados leves, de maior valor comercial. O objetivo pode ser também, a produção de coque de petróleo, utilizado como eletrodo na produção de alumínio.

A carga de uma unidade de coqueamento retardado é constituída por resíduo de vácuo ou óleo decantado, enquanto os produtos são o coque, gás combustível, GLP e derivados da faixa de destilação do óleo diesel e do gasóleo. Os principais equipamentos da unidade são a torre fracionadora principal, os tambores de coque, o forno de processo e a torre de estripagem do gasóleo leve. A unidade está representada esquematicamente na figura 2.4.

A temperatura após o forno situa-se entre 480 a 500°C, enquanto a pressão dos vasos de coque é de 1 a 6 Kg/cm².

Os vasos de coque operam intermitentemente. Enquanto um vai se enchendo de coque, o outro é esvaziado. Rompe-se o coque com jatos de água.

Os rendimentos e alguns índices técnico-econômicos de uma unidade de coqueamento retardado estão indicados na tabelas 2.12 e 2.13, respectivamente.

Os produtos do coque são muito instáveis quimicamente, e desta forma, devem receber algum tipo de tratamento para serem usados como produtos acabados.

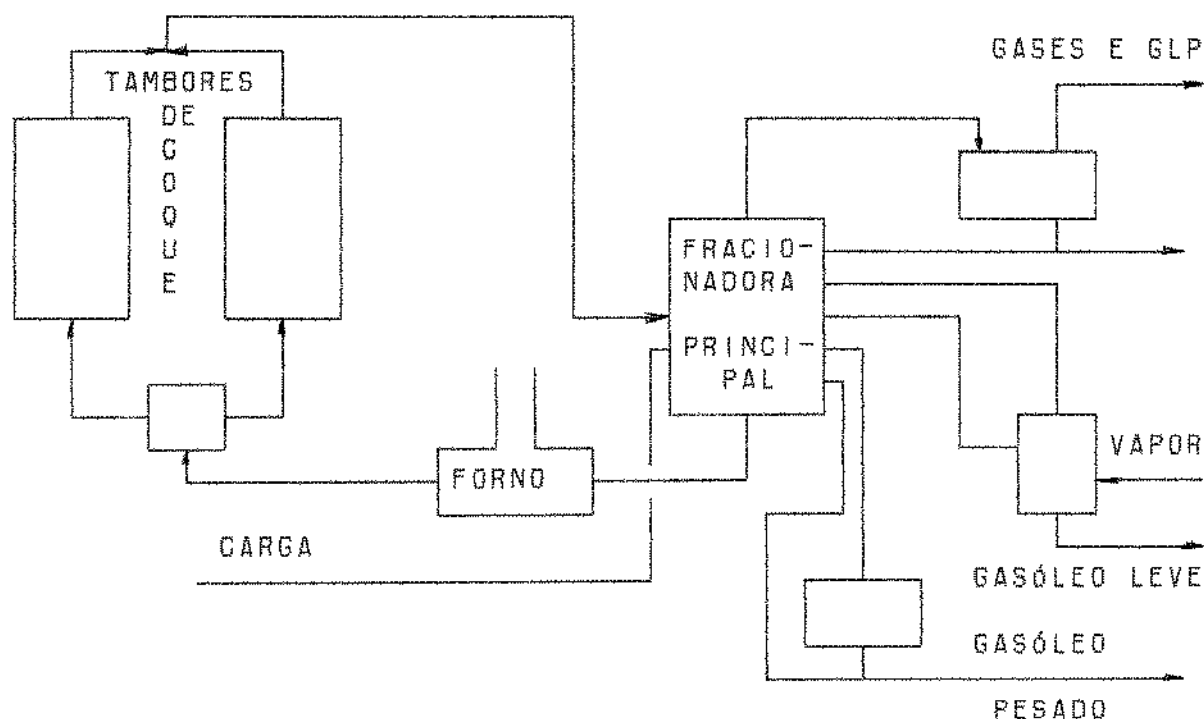


Figura 2.4 - A unidade de coqueamento retardado

TABELA 2.12
RENDIMENTOS TÍPICOS DE UMA UNIDADE DE COQUEAMENTO RETARDADO

CARGA	RV - PETRÓLEO VENEZUELANO	RV - PETRÓLEO N. AFRICANO	ÓLEO DECANTADO
° API	2,8	15,2	-0,7
% S	4,4	0,7	0,5
TIPO DE OPERAÇÃO	MÍNIMO COQUE	COQUE P/ ANODOS	COQUE AGULHA
PRODUTOS			
GÁS	4,5	3,1	4,0
GLP	5,3	4,6	5,8
RENDIMENTOS			
NAFTA	14,0	19,8	8,4
GASÓLEO LEVE	17,7	18,40	16,6
GASÓLEO PESADO	27,0	27,6	25,0
COQUE	32,5	26,4	40,2

TABELA 2.13
ÍNDICES TÉCNICO-ECONÔMICOS DE UMA UNIDADE DE COQUEAMENTO RETARDADO

CUSTO UNITÁRIO	US\$/m ³
CONSUMOS POR 1000m ³	
ÓLEO COMBUSTÍVEL	26,7m ³
ELETRICIDADE Kwh	22644
VAPOR EXPORTADO	114t
ÁGUA DE REFRIGERAÇÃO	875

A unidade de coqueamento retardado é a principal representante das unidades chamadas de "fundo de barril". As outras são a unidade de viscorredução e a de desasfaltação. É particularmente utilizada nos EUA.

A nafta resultante do processo de coqueamento retardado, para ser utilizada, deve ser hidrotratada ou usada para craqueamento nas unidades de craqueamento catalítico. O gasóleo leve pode ser usado no "pool" do óleo diesel, desde que seja hidrotratado. O gasóleo pesado é um produto de baixa conversão nas unidades de craqueamento catalítico.

2.5 A CONVERSÃO CATALÍTICA

Nas primeiras três décadas deste século, surgiram uma série de processos catalíticos importantes na indústria química, destacando-se a síntese de amônia, a síntese do metanol.

Entre 1925 e 1935 a indústria do petróleo aumenta em muito o uso de processos químicos e reconhece o potencial da então jovem ciência, a engenharia química. Neste período, para a produção de óleos lubrificantes, é desenvolvido a destilação a vácuo; aparecem, então, os "gasóleos de vácuo".

Pelo lado do mercado, observa-se um aumento na demanda de gasolina de mais alta octanagem. Os processos de conversão térmica, apesar de já terem atingido um bom grau de desenvolvimento eram processos tecnicamente com muitas limitações.

Neste contexto, parece claro que se tenha dado ênfase à pesquisa e aperfeiçoamento de processos catalíticos, que têm como grande vantagem o "direcionamento" das reações desejadas.

Os principais processos que surgiram no período foram a reforma catalítica, o craqueamento catalítico e os processos de hidrogenação.

A reforma e o craqueamento catalítico passaram a ser intensamente usados. Os processos de "hidrogenação", apesar de desenvolvidos, não foram muito utilizados por falta de atratividade econômica.

2.5.1 REFORMA CATALÍTICA

Basicamente, a reforma catalítica pode ser considerada como um processo de desidrogenação, ou seja, a retirada de hidrogênio de hidrocarbonetos. As reações são obtidas pela elevação de temperatura e orientadas pela presença de catalisadores.

O catalisador, de um modo geral, é uma partícula de granulometria controlada, obtida da alumina^{2.15} e impregnada de molibdênio ou platina. Na realidade, a platina e o molibdênio atuam realmente como "catalisadores", enquanto a alumina é o elemento de contato, ou seja, o suporte do catalisador.

2.15 Óxido de alumínio.

O principal objetivo da reforma catalítica é a obtenção de uma gasolina de alta octanagem, a partir de uma nafta de destilação direta, de baixa octanagem. Hoje, além de produzir gasolina de alta octanagem, a reforma é uma operação básica a produção de "aromáticos"^{2,16} na indústria petroquímica.

As reações químicas básicas que ocorrem na reforma catalítica são:

Ciclização de parafinas
 $n\text{-hexano} \rightarrow \text{benzeno} + 4 \text{ H}_2$

Desidrogenação de naftenos
 $\text{ciclohexano} \rightarrow \text{benzeno} + 3 \text{ H}_2$

Desidrogenação de parafinas
 $\text{pentano} \rightarrow \text{penteno} + \text{H}_2$

Em resumo, tem-se as seguintes mudanças de composição:

PRODUTOS	CARGA DA UNIDADE DE REFORMA	PRODUTOS DA REFORMA
n - parafinas	25%	18%
i - parafinas	25%	28%
naftenos	40%	4%

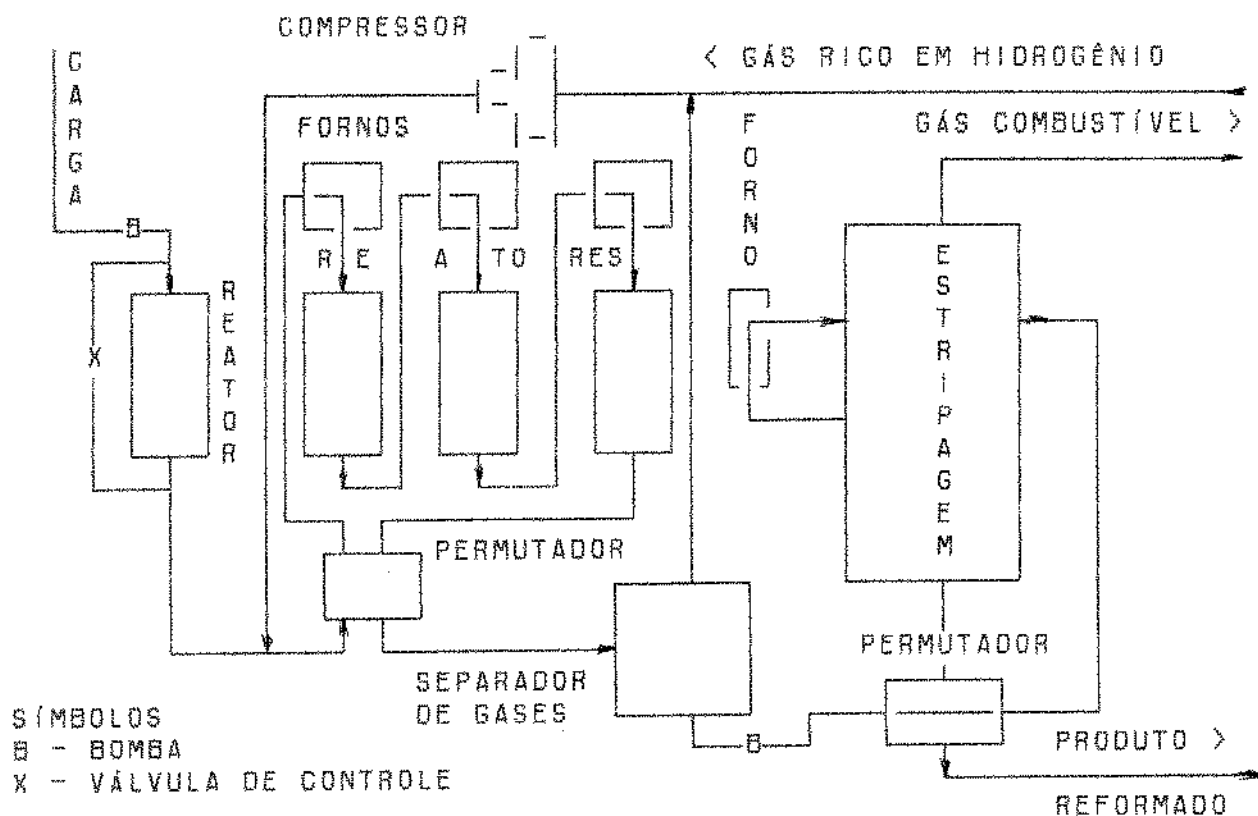


Figura 2.5 - Esquema da unidade de reforma catalítica

2.16 Xileno, tolueno e benzeno.

TABELA 2.14

DADOS TÉCNICOS-ECONÔMICOS DE UMA UNIDADE DE REFORMA CATALÍTICA

CARACTERÍSTICAS DA CARGA NAFTA DE	DESTILAÇÃO		HIDROCRaqueada
	HIDROTRATADA PARAFÍNICA 93 a 170°C		NAFTÊNICA 93 a 200°C
TIPO			
FAIXA DE DESTILAÇÃO			
% DE PARAFINAS(VOLUME)	68,6		32,6
% DE NAFTENOS	23,4		55,5
% DE AROMÁTICOS	8,0		11,9
ENXOFRE ppm	<0,2		<0,2
NITROGÊNIO ppm	<0,5		<0,5
PRODUTOS			
PRESSÃO DO REATOR Kgf/m ²	24,0	17,0	10,00
H ₂ % PESO	2,5	2,8	3,1
GÁS COMBUSTÍVEL	4,3	3,1	2,0
(C ₁ + C ₂) % PESO			
GLP	7,1	5,2	3,4
(C ₃ + C ₄) % PESO			
NAFTA	78,9(83,7)	81,5(87,0)	84,0(90,3)
(C ₅),% VOL (% PESO)			

2.5.2 CRAQUEAMENTO CATALÍTICO

O objetivo do craqueamento catalítico é obter produtos mais leves e de maior valor comercial, a partir de produtos mais pesados, como no craqueamento térmico.

A principal carga das unidades de craqueamento catalítico são os gasóleos obtidos na destilação a vácuo. Nos gasóleos encontra-se grande quantidade de produtos parafínicos de boa craqueabilidade.

Em relação ao craqueamento térmico, o craqueamento catalítico apresenta as seguintes vantagens:

(a) O tipo de catalisador pode orientar as reações no sentido de se obter mais GLP ou gasolina;

(b) A temperatura, aliada à relação catalisador - óleo, determinará a "severidade do processo", ou seja, quanto de produtos leves será obtido no processo.

(c) A formação de coque ocorre como nos processos térmicos, mas agregado ao catalisador. Este, se regenerado, ou seja, se passar por um processo de combustão controlada, fornecerá energia ao processo, além de recuperar a atividade do catalisador.

Atualmente, só é importante o processo de craqueamento catalítico fluído, que ocorre em leito fluidizado.

O catalisador é utilizado com granulometria bastante fina. Sua massa é aquecida e misturada à carga da unidade. Após um tempo de contato as reações de craqueamento ocorrem. Os produtos obtidos estão na forma de vapor e se separam do catalisador, no reator. O catalisador segue ao regenerador, onde

recebe ar, promovendo a queima do coque do catalisador. Após, o catalisador retorna ao reator, à altas temperaturas. Os gases de combustão, ricos em monóxido de carbono, seguem para uma caldeira de recuperação, onde produzirão vapor. A figura 2.6 ilustra o esquema deste processo.

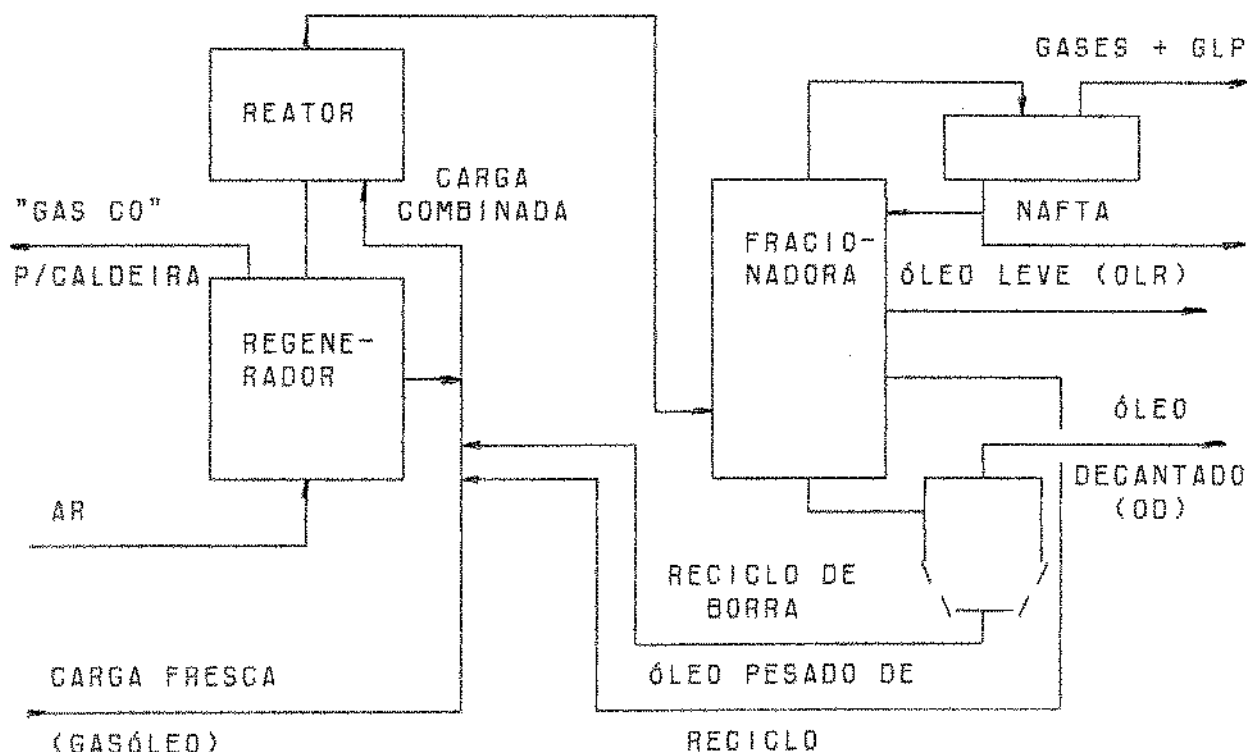


Figura 2.6 - Esquema do processo de craqueamento catalítico de leito fluidizado (FCC)

A seguir na tabela 2.15 apresenta alguns dados técnicos e econômicos de uma unidade de craqueamento catalítico de leito fluidizado - FCC, de 8000 m³/d de capacidade.

TABELA 2.15
DADOS TÉCNICO - ECONÔMICOS DE UMA UNIDADE DE CRAQUEAMENTO CATALÍTICO FLUÍDO

CONDIÇÕES OPERACIONAIS	
TEMPERATURA DO REATOR	580°C
TEMPERATURA DO REGENERADOR	680°C
PRESSÃO DO REATOR	2.0 kgf/cm ² man
CARGA	
DENSIDADE	0,88
RESÍDUO DE CARBONO	0,5%
METAIS NI/V, ppm	0,3/06
RENDIMENTOS	%
GÁS (EM PESO)	4
GLP (VOLUME)	28
GASOLINA (VOLUME)	55
ÓLEO LEVE DE RECICLO	12
ÓLEO DECANTADO	11
COQUE (PESO)	5

TABELA 2.15 (cont.)

INSUMOS/m ³	
ELETRICIDADE Kwh	6,3
VAPOR 90 Kgf/cm ²	
PRODUZIDO	0,26 t
CONSUMIDO	0,31 t
VAPOR 14 Kgf/cm ²	0,17
CATALISADOR	0,3 a 0,5 Kg
CUSTO DE MANUTENÇÃO (ANO)	3%

2.6. OS PROCESSO DE HIDROCONVERSÃO

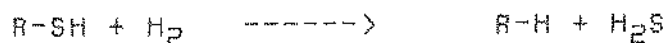
Na indústria do refino há uma "família" de unidades de processo cuja principal característica é o uso de hidrogênio e a presença de catalisadores. Esta família é composta pelas unidades hidrodesulfurização(HDS), hidrotratamento(HDT), hidrocrackeamento brando(MHC) e hidrocrackeamento severo (HCC).

Os processos de hidrogenação surgiram no mesmo período que os outros processos catalíticos, ou seja, no período de 1929 a 1935, mas, devido ao alto custo de investimento e operação, não foram utilizados como o crackeamento catalítico e a reforma.

Principalmente durante a 2ª guerra mundial, foi bastante usado o processo de hidrodesulfurização de gasolinas. Com a descoberta de petróleo de alto teor de enxofre, difundiu-se ainda mais as unidades de hidrodesulfurização.

As seguintes reações sintetizam o princípio das unidades de hidroconversão:

a) Reações de hidrodesulfurização



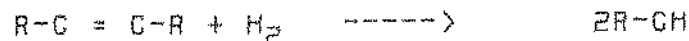
b) Reações de saturação de olefinas



c) Reações de desnitrificação



d) Reações de hidrocrackeamento



Onde R representa um hidrocarboneto e o catalisador mais utilizado são óxidos de molibdênio.

De um modo geral, a "pressão parcial de hidrogênio" e a temperatura do reator determinam a severidade do processo. Quanto maior esta severidade, mais ocorrem as reações do tipo hidrocrackeamento. Quando a severidade é baixa, só ocorrem as reações do tipo hidrodessulfurização.

O grande interesse por este tipo de unidade deve-se à qualidade de seus produtos, normalmente derivados de baixo teor de enxofre.

A medida que se foi exigindo uma maior qualidade dos derivados de petróleo e com as mudanças no perfil de consumo, estas unidades tiveram um maior campo de aplicação, notadamente para melhorar a qualidade de QAV, e para permitir que produtos do coqueamento retardado e craqueamento catalítico, como o gasóleo de coque e o óleo leve de reciclo, fossem aproveitados como óleo diesel.

A hidroconversão é também utilizada no processamento de petróleos pesados. O resíduo atmosférico é processado em uma unidade de hidrocrackeamento, produzindo gás, nafta e diesel de boa qualidade e um produto pesado, muito semelhante ao gasóleo, de baixo teor de metais e enxofre, adequado a ser carga de uma unidade de craqueamento catalítico (FCC). Em um esquema de refino deste tipo é bastante alta a produção de gasolina e diesel, e a produção de óleo combustível é quase nula. No entanto, o custo destas instalações é bastante elevado, tornando este esquema de refino inviável economicamente em muitos casos.

2.6.1 O HIDROTRATAMENTO

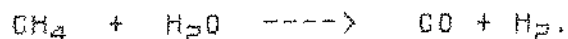
O objetivo das unidades de hidrotratamento é promover a melhoria da qualidade de frações do petróleo, através de reações de hidrodessulfurização, hidrogenitrogenação e hidrogenação.

As cargas usuais das unidades de hidrotratamento são as naftas que serão cargas de unidades de reforma catalítica, gasóleo de vácuo e gasóleo de coque e correntes do óleo diesel.

Os principais equipamentos desta unidade são o forno de processo, o reator é um vaso com o catalisador, o vaso separador, que permite o reciclo dos gases, o compressor de reciclo e o removedor de componentes leves, principalmente gases e GLP. Esses equipamentos estão representados esquematicamente na figura 2.12. As condições operacionais da unidade variam muito de acordo com o tipo de carga e objetivo da unidade; a pressão do sistema situa-se na faixa de 30 a 120 Kgf/cm².

Este tipo de unidade de refino possui um custo bastante elevado, porque o hidrogênio não é um produto disponível numa refinaria. A unidade que o produz compulsoriamente é a reforma catalítica, mas mesmo em refinarias que possuem os dois tipos de unidade, ou seja, reforma catalítica e hidrotratamento, a produção de hidrogênio é inferior ao consumo.

Para atender à demanda de hidrogênio, são construídas unidades de geração de hidrogênio, cuja matéria prima é a nafta, o gás de refinaria ou o gás natural. O hidrogênio é obtido por reações do tipo :



Neste tipo processo, uma tonelada de gás produz de 0,2 a 0,23 toneladas de hidrogênio. Assim, o hidrogênio é um insumo caro, em relação aos derivados de petróleo.

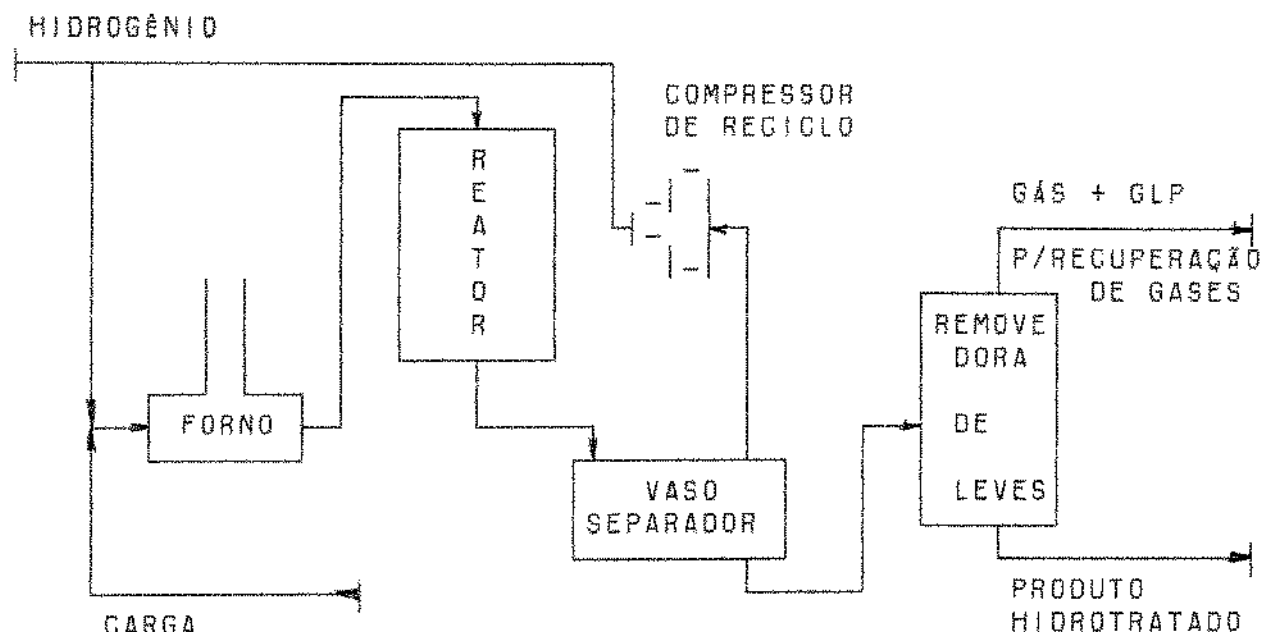


Figura 2.7 - Unidade de hidrotratamento

A tabela 2.16 apresenta alguns dados técnico-econômicos de unidade de hidrotratamento para processar querosene e gasóleo.

TABELA 2.16		
PARÂMETROS TÉCNICO-ECONÔMICOS DE UNIDADES DE HIDROTRATAMENTO		
TIPO DE CARGA	QUEROSENE	GASÓLEO
DENSIDADE	0,81	0,91
TEMPERATURA DE EBULIÇÃO	160 a 240° C	270 a 537° C
% ENXOFRE(PESO)	0,40	2,3
NITROGÊNIO	----	830
PRODUTOS		
NAFTA(RENDI/O % VOL)	1,0	2,6
ENXOFRE EM ppm	10	40
DESTILADO(RENDI/O % VOL)	99,1	98,0
DENSIDADE	0,80	0,90
% ENXOFRE	0,01	0,20
CONSUMO DE HIDROGÊNIO		
NM ³ /m ³	8,0	58,0
Kg/m ³	0,36	2,59
INVESTIMENTO UNITÁRIO (EM US\$/m ³)	20347	33912
CONSUMO DE COMBUSTÍVEL	6,3 m ³ /1000m ³	1575/1000/m ³
CONSUMO DE ELETRICIDADE	3Mwh/1000m ³	9Mwh/1000m ³

Fonte: (HYDROCARBON, 1988)

2.6.2 O HIDROCRACQUEAMENTO

O objetivo desse processo é hidrocraquear frações pesadas de hidrocarbonetos e, ao mesmo tempo, promover a qualidade dos produtos.

Pode-se até entender o processo de hidrocraqueamento como um processo severo de hidrotratamento, que por sua vez é uma unidade severa de hidrodesulfurização. A diferença básica entre essas unidades é o tipo de carga, as pressões e temperaturas. A medida que a carga vai ficando mais pesada, têm maior teor de metais. Além disto algumas reações podem liberar muito calor elevando muito a temperatura. Desta forma surgirá a primeira grande diferença entre as unidades, é a complexidade do reator da unidade. Por se tratar da parte mais complexa da unidade, há diferentes tecnologias em uso e desenvolvimento. Uma possibilidade é separar em dois ou três leitos, com remoção de calor entre os leitos, os diferentes leitos poderão manter diferentes atividades catalíticas^{2.17}. Outro tipo de tecnologia utiliza-se de um leito com retirada e admissão de catalisador, para controlar a atividade catalítica do leito.

Outra diferença é recuperação de calor. Em uma unidade simples, não é tão importante, porém na unidade de hidrocraqueamento, com necessidade de altas temperaturas, e sendo necessário remover calor do reator, este sistema torna-se muito importante, grande em termos de tamanho de equipamentos e caro.

Após o reator os produtos são enviados a uma seção de separação, se a unidade é simples, como a apresentada na figura 2.12, trata-se apenas de uma torre de estripagem, cujo objetivo é retirar os produtos leves formados. Porém tratando-se de um hidrocraqueamento de RAT ou resíduo de vácuo, haverá a formação de diversos produtos sendo necessário separá-los. Assim a seção de separação poderá ser tão complexa como uma unidade de destilação atmosférica^{2.18}.

Os principais produtos do processo de hidrocraqueamento são a nafta, com qualidade adequada para ser usada na indústria petroquímica, o querosene, com qualidade suficiente para a produção de QAV, o óleo diesel, o gasóleo leve e o gasóleo pesado. Estes produtos, em geral, possuem qualidade superior aos equivalentes obtidos na destilação direta do petróleo.

A seguir na tabela 2.17 apresenta as condições operacionais típicas de uma unidade de hidrocraqueamento de produtos pesados.

2.17 Pode-se imaginar que o primeiro leito absorvera mais os metais, perdendo rapidamente a atividade, podendo até ser tratado como um leito de sacrifício, permanecendo os outros menos contaminados, e portanto com maior atividade catalítica.

2.18 Semelhante a uma unidade de destilação como a mostrada na figura 2.6, com exceção da seção de destilação à vácuo.

TABELA 2.17
CONDIÇÕES OPERACIONAIS TÍPICAS DE UNIDADES DE HIDROCRACQUEAMENTO

TEMPERATURA DO REATOR	415 a 450 °C
PRESSÃO DO REATOR	100 a 200 kgf/cm ²
CONVERSÃO	85 a 90%
RETIRADA DE METAIS	85 a 99%
DESSULFURIZAÇÃO	80 a 90%

Do hidrotreatamento ao hidrocrackeamento severo, as tecnologias disponíveis são semelhantes, variando principalmente a severidade do processo^{2.19}. Um aumento na severidade implica no aumento da conversão e, em termos de equipamento, isto conduz a uma maior complexidade da seção de separação da unidade. Alguns dados técnico-econômicos de unidades de hidrocrackeamento típicas estão contidos na tabela 2.18.

TABELA 2.18
PARÂMETROS TÉCNICO-ECONÔMICOS DE UNIDADE
DE HIDROCRACQUEAMENTO TÍPICA

CARGA	R. VÁCUO(RV)	R. VÁCUO + R. ATMOSFÉRICO (RV + RAT)
DENSIDADE	1,04	0,99
ENXOFRE %(PESO)	3,6	2,9
NÍQUEL + VANÁDIO(ppm)	206	80
PRODUTOS(VOLUMÉTRICO)		
C ⁴ (GLP)	2,9	39
C ⁵ a 204°C(NAFTA)	23,8	27,7
204 a 370°C(DIESEL)	40,4	42,9
370 a 523°C(GASÓLEO LEVE)	38,5	28,2
523 + (GASÓLEO PESADO)	7,2	5,0
TOTAL DOS PRODUTOS	112,8	107,7
CONSUMO DE HIDROGÊNIO		
NM ₃ /m ³	310	272
Kg/m ³	27,7	24,3
INVESTIMENTO		
TAMANHO TÍPICO	4780m ³ /d	7960m ³ /d
US\$(m ³ EUA)m ³	20536	19845
BRASIL - FATOR 3.5	71880	69460
UTILIDADES/1000m ³ de carga		
CONSUMO DE COMBUSTÍVEL	19t	18t
ELETRICIDADE	102Mwh	98Mwh
VAPOR(EXPORTADO)	262 Kg	250Kg
ÁGUA DE RESFRIAMENTO	850m ³	630m ³
GASTO COM CATALISADOR (EUA)	2390US\$	820US\$

Fonte: (HYDROCARBON, 1988 P. 72)

^{2.19} Pressão, temperatura e consumo de hidrogênio.

2.7 OUTROS PROCESSOS DE REFINO

2.7.1 DESASFALTAÇÃO

Um tipo de "separação" de grande utilização na indústria química é a extração por solventes. Havendo uma mistura qualquer de dois ou mais componentes, A e B por exemplo, caso deseja-se separá-los, normalmente pensa-se em um processo de destilação. Há, porém, situações em que isto não é possível, por exemplo quando o ponto de ebulição está muito próximo da temperatura de craqueamento térmico. Nestes casos, pode-se pensar no uso de um solvente, ou seja, um produto que se adicionado à mistura A,B, seja depois separável e recomponha um dos componentes. Por exemplo, suponha que da mistura A e B haja interesse no produto B e que seja utilizado um solvente C. Faz-se inicialmente, a mistura de C a A,B. O componente B ficará dissolvido parte em A e parte em C. Depois, separa-se o produto B de C.

Este processo foi adaptado para o refino de petróleo inicialmente para a produção de lubrificantes.

A carga de uma unidade de desasfaltação é o resíduo de vácuo, formado por asfaltenos e parafinas de alto peso molecular. Deseja-se a separação das frações parafínicas para serem usadas na produção de lubrificantes, ou para constituir a carga de unidades de craqueamento catalítico.

Em resumo, este tipo de unidade opera da seguinte forma: em um torre, passa-se, em contra corrente, o solvente e o resíduo de vácuo. No solvente ficará grande parte das parafinas. Depois, por aquecimento e destilação separa-se o solvente da fração parafínica. A fração parafínica é chamada de óleo dessasfaltado (ODES), e a fração não absorvida pelo solvente é chamada resíduo asfáltico (RASf). Os principais equipamentos de uma unidade de desasfaltação são a torre extratora²⁻²⁰, a torre desasfaltadora, a torre para estripagem, a torre fracionadora e o tambor de recuperação do solvente. A seguir na tabela 2.19 apresenta-se informações técnicas e econômicas deste tipo de unidade.

TABELA 2.19

DADOS TÉCNICOS E ECONÔMICOS DE UMA UNIDADE DE DESASFALTAÇÃO DE

INVESTIMENTO	
CAPACIDADE TÍPICA	4800 m ³
CUSTO EUA	7500 US\$/m ³
CUSTO BRASIL	20350 US\$/m ³
UTILIDADES/1000m ³	
CONSUMO DE ÓLEO COMBUSTÍVEL	16t
ELETRICIDADE	7,54Mwh
VAPOR	170t
ÁGUA DE RESFRIAMENTO	2370m ³
SOLVENTE MÁXIMO	0,3t
CUSTO DE MANUTENÇÃO	3% AO ANO

2.20 Solvente e resíduo de vácuo em contra corrente.

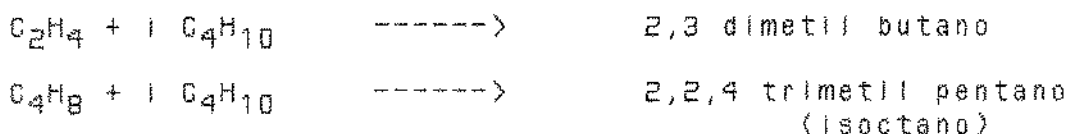
A introdução de uma unidade de desasfaltação em uma refinaria possibilita a diminuição na produção de óleos combustíveis e o aumento na produção de GLP e gasolina, ou seja, permite uma maior valorização dos produtos. É considerada uma unidade de "fundo de barril".

2.7.2 ALQUILAÇÃO

Na química orgânica, reações de adição de hidrocarbonetos não olefínicos a outros hidrocarbonetos é denominada reação de alquilação^{2.21}.

As unidades de alquilação foram desenvolvidas com o objetivo de produzir gasolina de alta octanagem. Para tanto adicionaram moléculas da faixa de destilação do GLP.

As reações químicas típicas são:



Estes processos foram bastante utilizados durante a 2ª guerra mundial para a produção de gasolina de aviação. Em 1945, só nos E.U.A. a produção de gasolina de aviação chegou a ser superior a 500000 bbl/d, decrescendo rapidamente após o término da grande guerra (NELSON, 1959, pag 7).

Hoje, este tipo de unidade é utilizada, ou para produzir gasolina de aviação, como ocorre no Brasil, ou para aumentar a octanagem do "pool da gasolina" em uma refinaria qualquer. Esta rota é ainda mais interessante quando há sobre de butanos^{2.22} e o mercado é carente de gasolina de alta octanagem. Este é o caso típico dos EUA.

Os principais equipamentos de uma unidade de alquilação são o reator, a fracionadora principal e o separador de propano e i-butano. O reator recebe a mistura de olefinas, isobutanos, e o reciclo de isobutanos; nele há uma recirculação de ácido fluorídrico. Na fracionadora principal ocorre a separação entre propanos e i-butanos, butanos e alquilados. A figura 2.8 apresenta o esquema de uma unidade de alquilação.

Na tabela 2.20 apresentam-se dados técnico-econômicos típicos das unidades de alquilação.

2.21 Adição de um radical alquila.

2.22 É necessário processá-los na unidade de isomerização para produzir o isobutano.

RECICLO DE ISOBUTANO

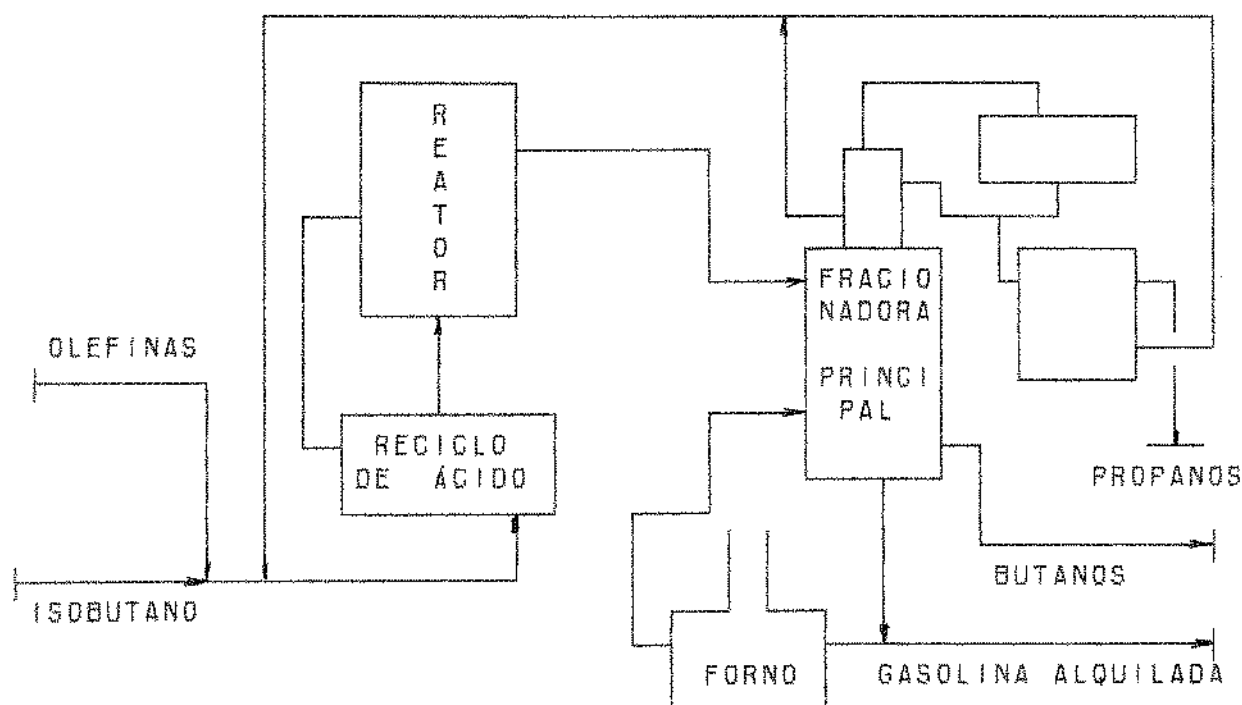


Figura 2.8 - Fluxograma de uma unidade de alquilação.

TABELA 2.20

PARÂMETROS TÉCNICO-ECONÔMICOS DE UMA UNIDADE DE ALQUILAÇÃO DE 1600m³/d DE CAPACIDADE

COMPOSIÇÃO DA CARGA % VOL.

PROPRILENO	0,8	
PROPANO	1,5	
BUTILENO	47,0	
I-BUTANO	33,8	
m-BUTANO	14,7	
I-PENTANO	2,2	
ALQUILADO		
DENSIDADE	0,70	
TEMPERATURA	10% VAPORIZADO (ASTM)	85° C
TEMPERATURA	90% VAPORIZADO	114° C
NÚMEROS DE OCTANOS	DOM	96,0
RENDIMENTOS POR 1m ³ DE OLEFINA		
I-BUTANO CONSUMIDO m ³		1,135
ALQUILADO PRODUZIDO m ³		1780
I-BUTANO + PROPANO m ³		0360
INVESTIMENTO		
CUSTO USA US\$/m ³		13000
CUSTO BRASIL m ³		35100
CONSUMO/1000m ³		
ELETRICIDADE 1Mwh		85,0
VAPOR (10Kgf/cm ²) Kg		512,7
ÁGUA DE RESFRIAMENTO		24000

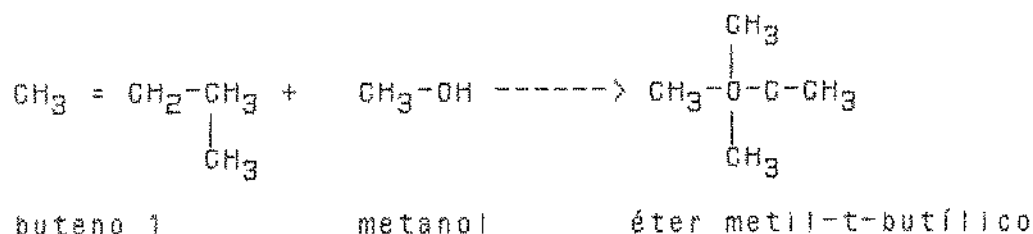
Fonte: (HYDROCARBON, 1988)

2.8 O PROCESSO DE PRODUÇÃO DO MTBE^{2.22}

Este produto começou a ser usado em larga escala após o surgimento de restrições ambientais ao uso do chumbo tetraetila, e o aparecimento no mercado das gasolinas isentas de chumbos.

O MTBE é obtido pela adição de metanol a olefinas da faixa do C₄-C₈, sendo os isobutenos os mais reativos.

Uma reação química típica de formação do MTBE está indicada abaixo:



O MTBE é um produto bastante compatível com a gasolina e já é, hoje, o principal promotor de octanagem. A produção de MTBE têm alguns aspectos interessantes.

O primeiro deles é a alta proporção do produto que pode ser empregado na mistura com gasolina. Hoje, pode ser usado até 15% em volume na Europa e EUA.

O segundo ponto a ser ressaltado é a possibilidade de uso seja do metanol como do etanol (ETBE - Etil-t-butil éter), produtos que podem ser obtidos a partir de diversas fontes de energia. O metanol é produzido principalmente utilizando-se gás natural, carvão e madeira. O etanol é produzido quase que exclusivamente por fermentação de biomassa.

O MTBE, portanto, desloca uma parte do mercado de gasolina e abrirá espaço para produtos derivados de outras fontes de energia.

Os principais equipamentos de uma unidade produtora de MTBE são os reatores, dotados de leito de resina de troca iônica, torre de fracionamento e as torres de separação de metanol. Nos reatores, as condições de pressão e temperatura são brandas. Na torre de fracionamento, o MTBE é separado com o rendimento de 99% em peso do éter. O metanol oriundo das torres de separação é reciclado no processo; nestas torres há também uma corrente de butanos. A figura 2.9 ilustra estes componentes.

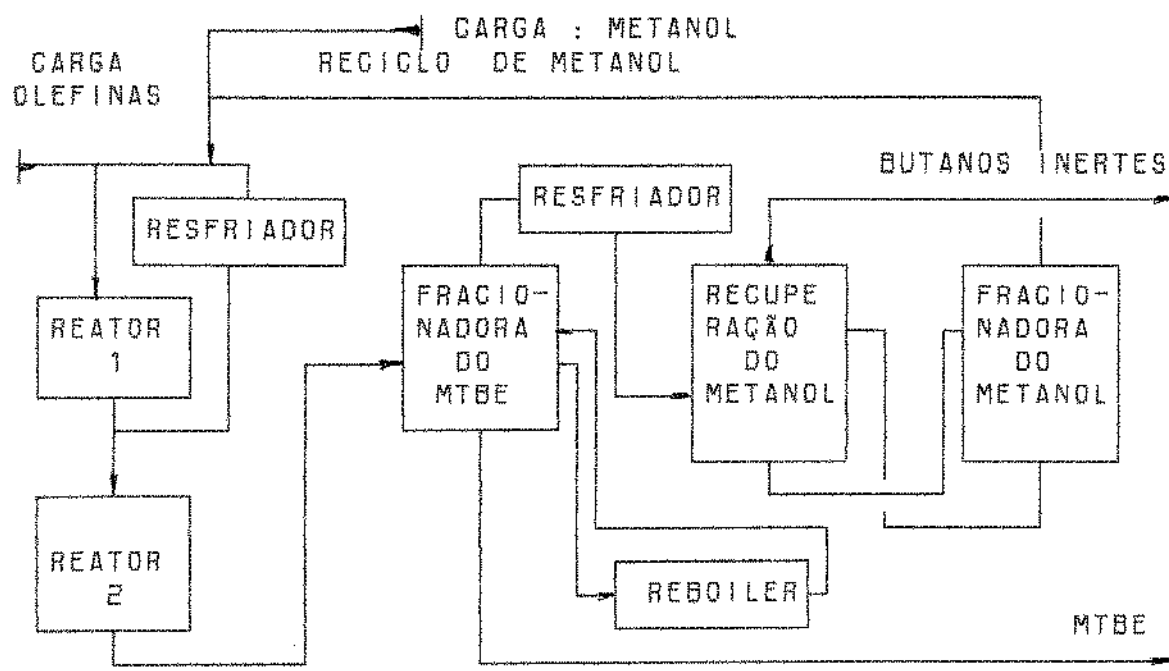


Figura 2.9 - Representação esquemática de uma unidade produtora de MBTE

A tabela 2.21, abaixo, apresenta alguns indicadores técnicos e econômicos de uma unidade típica.

TABELA 2.21
(ÍNDICES TÉCNICO-ECONÔMICOS DE UMA UNIDADE PRODUTORA DE MBTE, DE 500m³/d DE CAPACIDADE)

CUSTO ESTIMADO NOS EUA	12000 US\$/m ³
CUSTO ESTIMADO NO BRASIL	36000 US\$/m ³
CONSUMO DE UTILIDADES POR m ³ de MBTE	
ELETRICIDADE (Kwh)	15,44
VAPOR (de 3 Kgf/cm ²), Kg	1760
ÁGUA DE REFRIGERAÇÃO, m ³	50

Fonte : (HYDROCARBON , 1988)

BIBLIOGRAFIA

HYDROCARBON PROCESSING. Refining Handbook 1988.
Hydrocarbon Processing, setembro de 1988

NELSON W.L. Petroleum Refinery Engineering.
McGraw-Hill , quarta edição , 1959.

OBERT, E.F. Motores de Combustão Interna.
Editora Globo 1971..

RAMIREZ G.Z. Experiencias En El Procesamiento De Residuos De Vacio En El Complejo Industrial de Barrancabermeja. In XLVI ARPEL, Rio de Janeiro 16-19 , de 1982

CAPÍTULO III

EVOLUÇÃO HISTÓRICA DO REFINO DE PETRÓLEO

3.1 INTRODUÇÃO

O objetivo deste capítulo é discorrer sobre o refino do petróleo desde quando começou a ser produzido em escala comercial até os dias de hoje.

As mudanças que ocorreram no refino do petróleo foram impulsionadas principalmente pelas alterações do mercado consumidor e pelo desenvolvimento da tecnologia de refino. Dentro desta ótica, a evolução do refino pode ser dividida em três grandes períodos:

(i) Primeira fase - De 1860 a 1911: suas principais características foram a conquista da tecnologia de refino e a evolução das refinarias, de pequenas instalações, quase artesanais, para grandes complexos industriais detentores de alta tecnologia. O querosene de iluminação era o principal produto.

(ii) Segunda fase - De 1919 a 1973: nesta fase, além da consolidação da tecnologia de refino, houve um crescimento muito grande do consumo dos derivados de petróleo, particularmente da gasolina. O petróleo passou a ser a principal fonte de energia no mundo.

(iii) Terceira fase - De 1980 em diante: a indústria do petróleo passou por uma grande transformação, iniciada pelas duas crises do petróleo, em 1973 e em 1979, quando o consumo de derivados diminuiu bastante devido à fortes elevações do preço do petróleo. Quando este preço retornou a valores históricos, o consumo permaneceu razoavelmente contido, por razões ambientais. Pode-se entender como sendo o terceiro choque do petróleo. O refino tornou-se ainda mais complexo, para produzir derivados de melhor qualidade e, principalmente, mais óleo diesel.

Neste capítulo também se apresenta a tipologia do refino, uma unidade típica e a margem de refino^{3.1}, para cada uma destas fases.

3.1 A margem de refino bruta (MRB) é a diferença entre o valor de mercado (FOB) dos derivados obtidos de um certo volume de petróleo e o seu custo (CIF). A margem de refino técnica (MRT) é a margem bruta menos os gastos com energia e produtos químicos, principalmente catalisadores. Por margem de refino administrativa (MRA) entende-se a MRT menos o gasto com pessoal e manutenção e de 10 a 15% do investimento inicial na refinaria, rateado pelo volume de petróleo processado.

3.2 A FASE INICIAL DO REFINO

3.2.1 RETROSPECTIVA HISTÓRICA

O petróleo é conhecido desde a idade antiga. Por volta do ano 3.000 AC, assírios, sumérios e babilônios usavam o asfalto ou betumem como elemento ligante em construções e produção de objetos de arte.

Ao longo da história, o petróleo foi tendo outras aplicações, como a produção do "fogo grego" para uso militar^{3.2}, e como remédio para reumatismo, tosse e como purgante. Considera-se que a produção e o refino de petróleo em grande escala tenha surgido nos EUA, no século passado, para suprir a demanda de combustível para a iluminação.

No final do século XVIII e nas primeiras décadas do século XIX, houve um grande desenvolvimento intelectual no mundo. Muitos conceitos científicos foram firmados, e aumentou a curiosidade das pessoas sobre estes novos conceitos.

Até as primeiras décadas do século XIX a iluminação no mundo permaneceu semelhante à usada na Roma antiga e na Grécia. Basicamente, a iluminação era obtida pela queima de um combustível, normalmente óleo de baleia, gordura animal ou óleo vegetal, em um vaso aberto, com um pavio de tecido.

Na metade do século passado, observou-se um rápido desenvolvimento dos EUA: houve um intenso processo de urbanização e industrialização e construíram-se muitas estradas de ferro. Além disto, houve mudanças no comportamento da população que, influenciada pela atmosfera intelectual daquele período, procurava se informar mais. Todo este contexto contribuiu para um expressivo aumento na demanda de produtos para a iluminação de ambientes.

Como conseqüências, ocorreu um aumento significativo da produção de óleos vegetais, gordura de porco e óleo de baleia. Surge também a iluminação de cidades com gás, obtido inicialmente do carvão. A produção de combustíveis líquidos a partir do carvão desenvolve-se bastante neste período e, naturalmente, procurava-se um produto que pudesse ser usado diretamente nos lampiões e lamparinas.

Em 1830 surge o produto que rapidamente se tornaria o mais utilizado para iluminação, o campene^{3.3}, patenteado pelo americano Isaiah Jennings (WILLIAMSON e DAUM, 1959, p.33), obtido pela redistilação da parte mais leve da terebintina^{3.4}.

3.2 Isto é, combustível para incendiar.

3.3 Em inglês surgiu com o nome de "camphene". Era apenas uma marca comercial. Foi um sucesso, por ser um produto leve, não deixar resíduos nos lampiões e lamparinas e, principalmente, queimar sem cheiro.

3.4 A terebintina era um produto obtido do carvão vegetal, sendo usado como solvente de alguns produtos. Era semelhante à atual aguarrás, derivado do petróleo.

Na Europa, neste período, destaca-se a patente obtida pelo francês A. F. Selligie em 1834, referente à produção do gás de água^{3.5}, a partir da reação do vapor de água com carvão incandescente. Como o gás produzido tinha um baixo poder calorífico e, portanto, um baixo poder de iluminação, Selligie pesquisou e patenteou em 1838, o processo de obtenção de um óleo, por destilação^{3.6} de rochas betuminosas, semelhantes ao xisto. Este óleo foi usado originalmente para "enriquecer" o gás de iluminação^{3.7}. Selligie também desenvolveu alguns processos de tratamento deste óleo com ácido sulfúrico, para desodorizá-lo, e com soda cáustica, para neutralizar o ácido e melhorar a cor. O óleo assim tratado começou a ser usado em lâmpões e lamparinas (WILLIAMSON e DAUM, 1959, p.36).

Em meados do século XIX, nas cidades americanas, houve um notável crescimento das companhias de iluminação que se utilizavam do gás de água obtido principalmente do carvão mineral, enriquecido por algum combustível líquido volátil. A produção em larga escala desse gás de iluminação reduziu bastante o seu custo, de tal modo que este tipo de iluminação tornou-se mais barato que a obtida pelos tradicionais lâmpões alimentados por "produtos animais e vegetais".

Por volta de 1850 tornaram-se importantes nos EUA as indústrias de óleos obtidos do carvão mineral, para uso como lubrificantes, e, evidentemente como combustível para a iluminação.

Na época destacou-se, também, o cirurgião canadense Abraham Gesner, que, destilando certas rochas, patenteou um processo de obtenção de gás. Além disto, ele também conseguiu obter um produto líquido, que podia ser usado em lamparinas. O produto foi denominado "querosene", queros do grego parafina, e ene para significar um produto volátil, semelhante ao então popular campene. Em 1856 o produto começa a ser comercializado pela empresa North American Kerosene Gás Light Company, de Gesner e seus associados. O querosene, produto purificado, custava cerca de 1,00 US\$/galão, enquanto o campene custava 18% a mais, o óleo de baleia três vezes mais, e as gorduras animais quatro vezes mais. Assim, o querosene rapidamente tornou-se o produto mais importante para iluminação (WILLIAMSON e DAUM, 1959, p.47).

Várias empresas da época desenvolveram outros produtos, como lubrificantes, principalmente em um processo chamado, então, de "destilação destrutiva". Este consistia na secagem de carvão e aquecimento até 425 C. Produzia-se um óleo, que, então, era purificado, separando-se a água e outras impurezas. Este óleo, semelhante ao petróleo, era destilado para produzir um derivado para iluminação e lubrificantes.

Uma outra grande inovação daquele período foi a

3.5 Gás de água ou gás de síntese é a mistura de H_2 , H_2O , CO e CO_2 , obtida pela reação da água com um material que contenha carbono.

3.6 Considerava-se "destilação" os processos de aquecimento de sólidos ou líquidos e a condensação dos vapores obtidos.

3.7 Este tipo de produto, como será visto adiante, dará origem ao nome "gasolina".

aplicação do processo de destilação destrutiva a uma fração residual do processo de destilação do óleo de carvão, conhecida como óleo parafínico pesado. Esta fração de óleo era submetida a uma temperatura de 315°C. O processo alterava a estrutura molecular do óleo, quebrando as grandes moléculas. Este processo permitia aumentar em muito o rendimento dos óleos de iluminação (WILLIAMSON e DAUM, 1959, p.53).

No final dos anos cinquenta do século passado, nos EUA, apesar do grande incremento da indústria de óleo de carvão, predominava ainda a produção de gás a partir do carvão. Havia, naquela época, cerca de 400 indústrias de gás nas diferentes cidades. Era uma importante atividade industrial (WILLIAMSON e DAUM, 1959, p.57).

No entanto, a maioria dos americanos tornara-se dependente das lamparinas e lâmpades, e os óleos obtidos do carvão eram o combustível mais barato. Melhorias do processo industrial conseguiram diminuir o custo de produção, que se refletiu sobre o preço, na comercialização. Em menos de dois anos este preço diminuiu de 1,25 para 0,35 US\$/gal. Neste período, apareceram muitos fabricantes de lâmpades; estima-se que, em 1859, foram vendidos cerca de 3,6 milhões de lâmpades, sendo a metade destinada ao uso residencial. Também, neste período, ocorre uma melhor estruturação do comércio dos óleos para iluminação.

É neste contexto, de uma certa reestruturação comercial e industrial do setor de iluminação, onde há uma forte demanda de combustíveis líquidos para iluminação, que vai se inserir o petróleo.

3.2.2 O SURGIMENTO DO PETRÓLEO E O REFINO

Em 1854, George H. Bissell, visitando uma faculdade em Dartmouth, EUA, soube de experiências que estavam sendo feitas com uma amostra de petróleo obtida em uma fazenda perto de Titusville, Pennsylvania, EUA (TUGENDHAT, 1968, p.10). Segundo os pesquisadores desta faculdade, aquela amostra de petróleo podia produzir um querosene muito superior ao produzido a partir do carvão. George, através de uma sociedade comprou a fazenda. Formou-se, assim, a primeira empresa de petróleo: a Pennsylvania Rock Oil Company of New York (WILLIAMSON e DAUM, 1959, p.67).

O empreendimento torna-se mais importante, quando associa-se a ele o famoso químico e professor da Universidade de Yale, Benjamin Silliman Jr. que, estudando o petróleo de Titusville, conclui que, pela venda de querosene aos preços de então, o petróleo valeria US\$ 20,00/barril. Por volta de 1857, Edwin L. Drake, um antigo condutor de trem que gostava de ser chamado de coronel, foi encarregado de iniciar a perfuração em Titusville. Depois de muitas dificuldades surgidas na perfuração do poço, principalmente com as brocas e acionamento, o petróleo começa a ser extraído em 27 de agosto de 1859, a uma profundidade de 21 m e uma vazão de 30 barris por dia (TUGENDHAT, 1968, p.12).

Houve, então, uma verdadeira "febre" na procura e produção de petróleo. Seguiram-se muitas outras descobertas de

petróleo fazendo o preço cair de US\$ 20,00/barril para US\$2,00/barril (WILLIAMSON e DAUM, 1959, p.103).

O petróleo ao custo de US\$ 12,00/ barril já era competitivo com o carvão (WILLIAMSON e DAUM, 1959, p.106). Assim, rapidamente, o petróleo tomou o lugar do óleo produzido a partir do carvão, principalmente nas regiões onde haviam facilidades para se receber o novo produto.

A seguir, a tabela 3.1 apresenta estatísticas sobre a produção e o preço do petróleo nos seus primeiros anos de produção nos EUA.

TABELA 3.1
PRODUÇÃO E PREÇO DO PETRÓLEO NOS EUA

ANO	PRODUÇÃO milhão barril/ano	PREÇO US\$/barril
1.862	3,0	1,2
1.863	2,5	3,0
1.864	2,1	8,0
1.865	2,5	6,3
1.866	3,7	3,8
1.867	3,5	2,4
1.868	3,8	3,8
1.869	4,2	5,6
1.870	5,5	4,0
1.871	5,8	4,2
1.872	6,6	3,8
1.873	10,0	2,0
1.875	9,2	1,4
1.876	9,4	2,4
1.877	12,0	2,3
1.878	13,0	1,2
1.879	19,5	0,9
1.880	26,0	0,95
1.881	28,0	0,90
1.882	30,0	0,90
1.883	24,0	1,05
1.884	24,5	0,95

Fonte: (WILLIAMSON e DAUM, 1959, p.118 e 373)
Observar a estabilidade do preço do petróleo a partir de 1879.

3.2.3 PRIMEIRAS REFINARIAS, TECNOLOGIA E NOMENCLATURA

As primeiras refinarias de petróleo surgiram da adaptação das refinarias de óleo de carvão. Assim, incorporaram a nomenclatura e a tecnologia então existentes^{3.8}.

3.8 Os produtos de então eram classificados basicamente pela densidade, frequentemente expressa em graus Baumé.

O petróleo era conhecido, então, como "óleo da rocha". Na antiguidade, o petróleo também era chamado de nafta, termo oriundo do babilônio "naptu", óleo da pedra.

O produto que mais influenciou a nomenclatura dos derivados de petróleo é o querosene. Conforme comentado anteriormente, trata-se de um nome comercial para lembrar o então popular campene.

O refino de petróleo tinha por objetivo principal produzir o querosene^{3.9}. As frações mais leves foram chamadas de nafta, provavelmente significando que o produto não era especial, continuava "um petróleo". A nafta bruta saída da destilação do petróleo começou, então, a ser destilada; a fração mais leve foi desodorizada^{3.10} e usada como solvente da borracha natural. A fração mais pesada, também chamada de benzina, era usada como óleo de iluminação e, as vezes, como combustível de caldeiras.

A gasolina tem uma história curiosa. Aparentemente começou a ser comercializada em 1863. Era o produto mais leve e volátil obtido do carvão, redestilando-se a fração mais leve do óleo e condensando o produto com gelo e sal. Foi chamado inicialmente de queroselene; sua densidade era 0,65. O nome foi dado com o objetivo de chamar a atenção sobre um produto mais leve que o querosene.

O queroselene, por ser muito volátil, podia ser usado como gás nos lampiões em locais não servidos pelas companhias de gás. Essas companhias obtinham o gás, pela reação de água com o carvão, e face as limitações técnicas daquele tempo, muitas vezes o gás produzido tinha baixo poder calorífico, não produzindo luz adequada. Algumas companhias começaram a injetar o queroselene nos gasodutos, para melhorar a qualidade do gás. Assim, o produto ficou conhecido como a "gasolina"^{3.11}.

Dois outros produtos comercializados naquela época eram o rigolene e o climogene. Ambos eram muito voláteis e foram usados como anestésicos locais. O nome rigolene vem do grego e significa extremamente frio. Climogene significa, em grego, gerador de frio. Ambos os produtos eram misturas de butano e pentano.

A história do óleo diesel também está ligada a produção de combustíveis para iluminação. Os produtos mais pesados, ou seja de maior densidade que o querosene não tinham importância comercial, com exceção dos lubrificantes. Com o aumento do refino de petróleo, aumentou muito a produção desses derivados de menor valor comercial, que começaram a ser usados em caldeiras, e na produção de gás, em substituição ao carvão.

Dai o nome original "gas oil", ou seja, óleo para a produção de gás. Mais tarde, o alemão Rudolf Diesel desenvolveu um motor para usar combustíveis baratos. Utilizou inicialmente o carvão em pó e, depois, o "gas oil". Este nome é utilizado até

3.9 O Querosene era tão ligado ao início da indústria do petróleo que em muitos textos ele era chamado de petróleo refinado.

3.10 Lavagem com ácido e soda.

3.11 Aparentemente da junção das palavras inglesas, "gas" e "line" ou "pipeline".

hoje na Europa^{3.12} para designar o óleo diesel.

Com o desenvolvimento dos processos de refino, e o advento dos motores diesel, o refino passou a produzir produtos mais pesados que o óleo diesel, destinados à queima em caldeiras e fornos industriais. Esses produtos ficaram conhecidos como óleo combustível, do inglês "fuel oil".

3.2.4 OS PROCESSOS DA PRIMEIRA FASE DO REFINO

Como já foi mencionado, a produção de derivados de petróleo nesta primeira fase do refino era bastante artesanal; o objetivo era produzir a maior quantidade possível de querosene. Na ocasião, não haviam especificações para o produto, apenas noções de qualidade. Desejava-se que o querosene não deixasse resíduos após ser queimado, não produzisse fuligem, e os gases de combustão não deveriam ter cheiro.

Atender estes conceitos de qualidade muitas vezes significava o sucesso ou não das muitas empresas que apareceram naquela época. Como os fundamentos químicos dos processos envolvidos eram desconhecidos, então a produção do querosene de boa qualidade era na maioria das vezes atribuída à habilidade do pessoal envolvido na produção.

Apesar do pouco conhecimento técnico, alguns processos se difundiram e foram aperfeiçoados. A seguir são brevemente comentados os principais.

3.2.4.1 A DESTILAÇÃO POR BATELADAS

Nessa primeira fase, os processos de refino eram todos por batelada. A destilação era um processo bastante simples. Basicamente, aquecia-se um recipiente e coletava-se os produtos após um resfriamento. Em resumo, o equipamento era idêntico ao de um alambique. Já naquela época, sabia-se que a injeção de vapor facilitava a separação dos produtos^{3.13}.

A separação dos produtos era feita por acompanhamento do ponto de ebulição.

Um outro tipo de equipamento que ganhou uma certa importância neste período foi a destilação à vácuo. O processo surgiu nos EUA, nas refinarias de açúcar. Em 1860 foi patenteado um processo à vácuo, que utilizava vapor superaquecido para uma

3.12 Nos países latinos, de um modo geral, firmou-se o nome de gasóleo para designar o combustível para motores diesel. No Brasil, esse combustível é conhecido com óleo diesel. Por gasóleo designam-se, no país, os produtos obtidos na destilação a vácuo, ou seja, os produtos de maior ponto de ebulição que o diesel, mas ainda de ponto de ebulição inferior a dos produtos destinados à produção de óleo combustível.

3.13 A injeção de vapor facilita o processo de destilação por abaixar a pressão dos hidrocarbonetos. Equivale a um abaixamento da pressão total.

melhor separação dos produtos mais pesados, comercializados como óleos lubrificantes (WILLIAMSON e DAUM, 1959, p.218).

3.2.4.2 DESTILAÇÃO DESTRUTIVA

Observou-se, na época, que quando o processo de destilação era feito à temperaturas mais elevadas obtinha-se um maior rendimento de querosene.

Assim, desenvolveu-se a "destilação destrutiva". Os equipamentos eram similares ao do processo convencional de destilação, mas submetia-se, por mais tempo e à maiores temperaturas, frações redestiladas. Provocava-se o craqueamento térmico das frações de maior peso molecular, originando moléculas menores, recuperadas como querosene.

A chamada destilação destrutiva, apesar de ser muito semelhante ao processo convencional de destilação, em termos conceituais é bastante diferente. Enquanto a destilação convencional é um processo físico, a destilação destrutiva é um processo químico, que deu base ao desenvolvimento das unidades de craqueamento térmico e craqueamento catalítico.

3.2.4.3 TRATAMENTO DE QUEROSENE

Este tratamento foi desenvolvido com o objetivo de clarear o querosene e diminuir o odor na sua combustão.

Basicamente, o processo consistia em misturar ao querosene uma solução à 2% de ácido sulfúrico, sob agitação. Depois, o querosene era separado, lavado com água e novamente lavado com uma solução de soda caustica à 2%. Por fim, o produto repousava em tanques, dando tempo à separação da água e de contaminantes.

3.2.4.4 DESTILAÇÃO CONTÍNUA E MULTI-ESTÁGIOS

O processo de destilação tradicional era basicamente um processo semelhante ao de alambiques, isto é, por bateladas e uma única saída do vapor. O processo contínuo de destilação, com a separação simultânea de vários produtos, tal qual usado atualmente, foi introduzido na Rússia, por volta de 1880, pelos Irmãos Nobel^{3.14} (WILLIAMSON e DAUM, 1959, p.517 e 263).

Um outro aspecto tecnológico importante foi a

3.14 O pai dos irmãos Nobel, famoso fabricante de explosivos, foi contratado pelo governo Russo, de 1842 à 1859. Os três filhos, Robert, Ludwig e Alfred, fundam em 1876 uma refinaria de petróleo em Baku, Rússia, na região do mar Cáspio, próximo à antiga Persia. A empresa dos Nobel, se tornará uma grande organização, e parte do sucesso é atribuída às inovações tecnológicas introduzidas pelos irmãos Nobel.

Nomenclatura utilizada na figura 3.1 :

- A - Rigolene , rendimento 0,2% em volume.
- B - Gasolina , rendimento 1,5% em volume.
- C - Querosene especial , rendimento 30,0 %.

- 1- Destilador ou alambique, aquecido com vapor até 504°C e, após, com aquecimento direto até 5004°C.
- 2- Armazenamento intermediário.
- 3- Estágio de estripagem a vapor^{3.15}.
- 4- Condensadores com gelo.
- 5- Condensadores a água.
- 6- Tanques lavadores.
- 7- Decantador.

Rendimentos:

Produtos líquidos	- 83.0%
Parafinas	- 2.0%
Perdas	- 15.0%

O esquema apresentado na figura 3.1 baseia-se na refinaria Charles Pratts, na cidade de Nova York, 1870 (WILLIAMSON e DAUM, 1959, p.278). Era uma refinaria modelo na época, especializada na produção de querosene.

3.2.6 A ORGANIZAÇÃO DAS EMPRESAS DE PETRÓLEO

De um modo geral, no início desta fase apareceram muitas empresas no ramo. Algumas produziam combustíveis para iluminação a partir do carvão, outras dedicavam-se à comercialização de produtos para iluminação, enquanto outras produziam e comercializavam petróleo e seus derivados.

A medida que cresceu o mercado, estas empresas foram dominando a tecnologia e, principalmente, verticalizando as atividades. As que não fizeram isto foram incorporadas. Assim, de um grande número inicial de pequenas empresas, chegou-se ao final do período com algumas poucas grandes empresas que controlavam as atividades petrolíferas a nível regional. Bons exemplos deste processo são a Standard, nos EUA, e a empresa dos irmãos Nobel, na Rússia.

3.2.6.1 A STANDARD OIL

O início da produção e refino de petróleo ocorreu na Pensilvânia, EUA, e pode ser comparada à descoberta de ouro na Califórnia e prata no Estado de Nevada, em termos de quantidade

^{3.15} Retirada das frações mais leves.

de pessoas atraídas e nível das atividades industriais e comerciais.

Surgiu, assim, um grande número de refinarias. Então, um maior rendimento de querosene e a qualidade do produto eram atribuídos à qualidade do pessoal envolvido.

Da mesma forma que milhares de outras pessoas, John D. Rockefeller, jovem de origem humilde, foi atraído para esta atividade. Com mais três sócios, fundou a Excelsior Oil em 1853 (WILLIAMSON e DAUM, 1959, p.301). Depois de dois anos, já era considerada uma das melhores refinarias da região de Cleveland, EUA. Em pouco tempo, outras associações foram feitas e diversas refinarias foram compradas. Até que, em 1870, foi incorporada ao grupo a maior e mais bem equipada refinaria da época, a Standard Oil Company of Ohio.

Foi mais do que uma simples incorporação, a refinaria, por ser a maior e mais bem equipada, podia produzir pelo menor custo, com um bom controle de qualidade para a ocasião. Os produtos eram "estandarizados" ou padronizados, ou seja, tinham uma certa especificação. Isto na época era novidade e atraiu os consumidores. De certa forma, estes foram os objetivos adotados pelo grupo: produção em escala para baixar o custo unitário, e produtos padronizados^{3.16} e com qualidade. O grupo, inclusive, muda sua designação de "Excelsior Oil" para "Standard Oil of Ohio". Esta denominação só mudou em 1911, quando a companhia foi dividida em várias outras, devido à lei anti-truste americana, passando a ser Standard Oil of New Jersey.

No início da década de 1870 o consumo de petróleo nos EUA era de 15700 barris/dia, enquanto a capacidade de refino instalada era o dobro. O setor entrou em crise, muitas refinarias fecharam, diversos grupos faliram.

Neste período, a Standard Oil começou a executar o plano que lhe daria praticamente o controle de toda a atividade petrolífera nos EUA. Muitas empresas de petróleo da região de Cleveland foram compradas pela Standard Oil, que, em pouco tempo, chegou à capacidade de refino de 12000 BPD, quase a metade da capacidade americana de então.

Após esta crise, começa a ocorrer uma forte "verticalização" das empresas, porque, durante a crise, as refinarias que tinham controle do suprimento de petróleo e da comercialização dos produtos tiveram uma maior facilidade para sobreviver. Desta forma, se inicia uma integração das atividades de transporte, em ferrovias e oleodutos, refino e comercialização, completando-se com a própria produção de petróleo.

No final do século, a Standard Oil controlava cerca de 90% do refino, a comercialização, o transporte e boa parte da produção. A tabela 3.2 ilustra este fato, no que se refere ao refino.

3.16 Os produtos da Standard Oil passaram a ter características semelhantes em todas as unidades da empresa. Era uma garantia de qualidade.

TABELA 3.2
CAPACIDADE DE REFINO DA STANDARD OIL STO NO FIM DO SÉCULO PASSADO

ANO	1881	1884	1888	1899
CAPACIDADE REFINO NOS EUA - 1000 BPD	88,7	124,8	140,2	220,8
PARTICIPAÇÃO DA STO NO REFINO - %	90,8	78,0	79,0	82,0
Nº DE REFINARIAS DOS EUA	-	-	104	75
CAPACIDADE MEDIA DAS REFINARIAS DA STO (EM BPD)	-	-	1350	2944

A Standard Oil é o melhor exemplo desta primeira fase do refino. Trata-se de, inicialmente, uma pequena empresa de refino, com pouca tecnologia, que, juntando algumas conquistas tecnológicas a uma estratégia de "marketing" adequada, transformou-se na maior organização empresarial do mundo de então, dominando a tecnologia e todas as atividades relativas ao petróleo.

3.2.8.2 A EMPRESA DOS IRMÃOS NOBEL

Uma outra característica da primeira fase do refino foi a concentração da atividade nos EUA. No ano de 1870 praticamente só havia refino nos EUA, que destinavam cerca de 70% de sua produção de derivados para exportação (WILLIAMSON e DAUM, 1959, p.322).

O primeiro país que competiu com os EUA neste ramo foi a Rússia. Em 1873, a região de Baku, próxima à divisa da antiga Pérsia, hoje Irã, tornou-se uma promissora região produtora de petróleo. Em 1874 já supria um terço das necessidades de querosene da Rússia.

Assim como nos EUA, o refino de petróleo na Rússia atraiu muitas pessoas. Em 1884 haviam 200 refinarias na região.

Apesar da produção russa ter sido pequena, comparada à americana (tabela 3.3) a competição foi importante em termos técnicos, graças às inovações em termos de refino e transporte por ferrovias e por oleodutos. Muitos destes avanços estão ligados aos Irmãos Nobel.

TABELA 3.3
PRODUÇÃO AMERICANA E RUSSA DE PETRÓLEO E QUEROSENE
(MILHÃO DE BARRIL/ANO)

ANO	1874	1879	1884
PRODUÇÃO DE PETRÓLEO NOS E.U.A.(A)	10927	19914	24218
PRODUÇÃO DE PETRÓLEO NA RUSSIA(B)	475	2254	8841
(B)/(A), EM %	4,3	11,3	36,5
PRODUÇÃO DE QUEROSENE NOS E.U.A.(C)	6372	11430	15450
PRODUÇÃO DE QUEROSENE NA RUSSIA(D)	143,8	670,3	2161
(D)/(C), EM %	2,3	5,8	14,0

A família Nobel estava na Rússia desde 1838. Os irmãos Robert e Ludwig implantaram uma refinaria no ano de 1876 em Baku, a Nobel Brothers Naphta Company. Dois anos mais tarde, Alfred junta-se na sociedade a seus irmãos.

A primeira inovação foi a construção de um oleoduto de 15km para recebimento de petróleo direto dos campos produtores. Em seguida, compraram propriedades com potencial de produzir petróleo e importaram equipamentos de perfuração dos EUA. Graças ao arrojo técnico dos Nobel, eles logo estavam produzindo petróleo a um custo muito baixo.

Tendo em vista o alto custo de transporte de derivados em barril, os irmãos Nobel tentaram introduzir o transporte a granel, em barcos. Mas as empresas de navegação não aceitaram. Eles encomendaram, então, navios tanques. O primeiro navio tanque a operar no mar Caspio foi o Zoroaster, com 21 tanques de 1500 barris. O sucesso foi tanto, que, em poucos anos, havia mais doze barcos semelhantes, todos dos irmãos Nobel. Introduziram, também, o transporte a granel nas ferrovias. Por volta de 1883 haviam 1500 tanques de 62 barris dos irmãos Nobel. Em 1883, de acordo com uma sugestão de Alfred, é introduzido o processo contínuo multi-estágios. O processo permitiu a produção de lubrificantes e a redução de custos. Neste ano, os irmãos Nobel participaram com 51,5% do total de petróleo produzido na Rússia (WILLIAMSON e DAUM, 1959, p.517).

3.2.7 A LUCRATIVIDADE OU "MARGEM DE REFINO"

Apesar do pensamento generalizado de que o refino de petróleo sempre foi uma atividade muito lucrativa, isto nem sempre ocorreu, principalmente no começo da década de 1870, quando a capacidade instalada chegou a ser o dobro do consumo. Iniciou-se, então, um processo de fusão de empresas.

A tabela 3.4 mostra os principais parâmetros econômicos aplicáveis ao refino nos EUA, nesta primeira fase.

TABELA 3.4
PARÂMETROS ECONÔMICOS DO REFINO AMERICANO NO SÉCULO PASSADO

PREÇOS, EM US\$/BBL:	1873-1875	1878-80	1883-85
PETRÓLEO ^{3.17}	3,23	2,42	2,98
QUEROSENE ^{3.18}	6,15	3,89	3,47
LUBRIFICANTES	12,52	5,81	8,74
NAFTA, GASOLINA	4,16	1,97	2,85
PRODUÇÃO, EM % :			
QUEROSENE	77,8	77,4	74,2
LUBRIFICANTES	2,4	2,7	4,1
GASOLINAS	9,8	10,3	11,7
PERDAS + COQUE + CONSUMO PRÓPRIO	10,0	10,0	10,0
PETRÓLEO PROCESSADO, EM 10 ³ BBL/ANO	8500	14062	20552
DERIVADOS OBTIDOS, EM 10 ³ BBL/ANO	7650	12656	18497
Nº DE EMPREGADOS	-----	9869	11403 ^{3.19}
MARGENS DE REFINO, EM US\$/BBL			
VALOR MÉDIO DOS PRODUTOS	5,49	3,37	3,27
VALOR DO PETRÓLEO	3,23	2,42	2,98
MARGEM BRUTA	2,26	0,95	0,31
CUSTO MÉDIO DO REFINO	1,60	1,05	0,63
MARGEM DE REFINO GERENCIAL	0,66	-0,10	-0,32
CAPITAL DO SETOR, EM US\$	27325748	77416296	95327892
TAXA RETORNO SOBRE CAPITAL +MANUTENÇÃO (15%)	4098862	11612444	14299183
CUSTO ADICIONAL POR BARRIL	0,54	0,92	0,77
MARGEM DE REFINO ADMINIS- TRATIVA	+0,12	-1,02	-1,09

Fonte: (WILLIAMSDOM e DAUM, 1958, p.)

Acima de tudo, os valores apresentados mostram porque a atividade de refino concentrou-se tanto nos EUA, tendo sido, praticamente, um monopólio da Standard Oil. É importante mencionar que os dados apresentados na tabela 3.4 são médios, a Standard Oil conseguia rendimentos maiores.

O número de refinarias evoluiu de 89 em 1880, para 104 em 1889 e 75 em 1899. Há várias razões para isto, as principais sendo a busca de maiores eficiências e reduções de custos via aumento da escala de produção.

Os custos do refino tiveram a evolução apresentada na

3.17 Valores médios.

3.18 Valor estimado.

3.19 Dado de 1889.

tabela 3.5. Estes custos incluem os gastos com carvão^{3.20}, soda cáustica, ácido e pessoal.

TABELA 3.5
EVOLUÇÃO DO CUSTO MÉDIO DO REFINO

ANO	CUSTO MÉDIO DO REFINO US\$/BBL
1870	1,80
1880	1,05
1885	0,63
1889	0,21

Fonte: (WILLIAMSON e DAUM, 1959, p.487).

A evolução deste custo médio reflete a evolução da tecnologia de refino, e, principalmente, o crescimento do tamanho das refinarias.

Um outro parâmetro econômico interessante é o custo de transporte. Nas estatísticas do período aparentemente há discrepâncias quanto ao preço do petróleo. Em algumas estatísticas aparece o valor de 1,00 US\$/BBL e, em outras, sobre o mesmo período, surge o valor de 3,00 US\$/BBL. Na realidade, o primeiro preço é o do produtor de petróleo. O segundo é o preço pago pelas refinarias, o que inclui o custo do frete.

Por volta de 1870, o óleo da região da Pensilvânia tinha o preço de 1,44 a 1,79 US\$/BBL. O custo do transporte para Nova York era de 2,7 a 3,21 US\$/BBL (WILLIAMSON e DAUM, 1959, p.623).

Entre os anos de 1890 e 1899 o custo do petróleo Appalachiam variou de 0,88 a 1,34 US\$/bbl. O custo do transporte para a região de Nova York era de 0,63 US\$/BBL.

A questão do transporte tinha um peso econômico tão grande, que justificou, em grande parte, o sucesso de empresas integradas como a Standard Oil e a empresa dos irmãos Nobel.

3.20 No início do refino era o combustível utilizado.

3.3 A SEGUNDA FASE DO REFINO

3.3.1 ASPECTOS GERAIS

O início da segunda fase do refino de petróleo caracteriza-se, principalmente, pela mudança no perfil do mercado consumidor. Antes, o refino objetivava apenas produtos para a iluminação, e, na segunda fase, o interesse desloca-se para a produção de gasolinas automotivas.

Mas há uma série de outras diferenças. Na primeira fase o grande produtor de petróleo foi os EUA, que exportava derivados para praticamente todos os outros países. Uma certa concorrência foi feita apenas pela Rússia.

O refino de petróleo, na primeira fase, evoluiu de uma atividade artesanal para uma indústria moderna, que por muito tempo permaneceu na vanguarda da tecnologia industrial. As pequenas refinarias quase artesanais do início foram substituídas por grandes unidades industriais. As empresas que tiveram arrojo técnico e comercial dominaram totalmente a atividade. Os principais exemplos são a Standard Oil^{3.21} e a empresa dos irmãos Nobel na Rússia^{3.22}.

As grandes empresas da primeira fase eram integradas, isto é, a partir do refino do petróleo, passaram a se envolver nas atividades de distribuição, transporte de petróleo e derivados, e na produção de petróleo.

Na segunda fase do refino a atividade produção de derivados fica ainda mais complexa, a gasolina torna-se o principal produto, e o consumo de asfaltos fica significativo. Surgem muitos novos campos de petróleo, nos EUA e em outras partes do mundo, destacando-se a Venezuela e o México. Mas, principalmente, surge a produção no Oriente Médio, com toda uma complexidade geopolítica.

Na nova ordem política e econômica que se estabeleceu no início do século, era muito difícil a concentração da atividade petróleo em poucas empresas. Assim, aparecem muitas novas empresas. Na Europa surgem algumas, destacando-se a Royal Dutch Shell, pioneira no transporte de petróleo a granel no canal de Suez, e a British Petroleum, fundada como Anglo Persian Oil Co.. Nos EUA, ocorre em 1911 a dissolução da Standard Oil, surgindo uma série de empresas regionais; algumas se tornaram, mais tarde, grandes e internacionais, como a Chevron e a Mobil^{3.23}.

3.21 Estima-se que entre 1880 e 1890 a Standard Oil controlou de cerca de 90% de toda atividade petrolífera nos EUA.

3.22 Os irmãos Nobel eram: Robert, Ludwig e Alfred, sendo o último o inventor da dinamite. A empresa era a Nobel Brothers Naphta Company.

3.23 Com a dissolução da Standard Oil de Ohio, surgem uma série de empresas. Destaca-se a Standard Oil de New Jersey, que mais tarde ficaria conhecida como Exxon, Standard da Califórnia ou SOCAL, mais tarde chamada de Chevron, e a Standard Oil de New York ou MOBIL.

Uma característica importante deste segundo período é o surgimento do cartel das grandes empresas. No início do período havia uma certa competição, principalmente depois da dissolução da Standard Oil, e o surgimento da Shell a nível internacional. O período de competição termina com o estabelecimento do acordo de Achnacarry^{3.24}), inicialmente celebrado entre a Standard Oil (Exxon), Anglo Persiann Oil (British Petroleum) e a Royal Dutch Shell. Logo, o acordo foi seguido pelas outras grandes empresas.

O acordo de Achnacarry estabeleceu regras de convivência e cooperação entre as grandes empresas, eliminando a concorrência. O princípio básico foi o "manter a situação atual", ou seja, aceitar o atual volume de negócios de cada empresa, inclusive considerando-o para as futuras expansões. Além disto, o acordo estabelecia um critério de preços para o petróleo, que favorecia as grandes empresas na época este sistema de preços foi chamado de "Golfo Plus"^{3.25}). O acordo também, determinava critérios econômicos de uso das instalações existentes pelas demais empresas, como por exemplo, a taxa a ser cobrada pelo uso de um oleoduto (TUGENDHAT, 1968, p.38).

O resultado prático do acordo de Achnacarry foi o surgimento do cartel das grandes empresas, que mantiveram por muito tempo o controle dos preços do petróleo e seus derivados. Outro grupo de empresas desta segunda fase, são as empresas estatais. A mais famosa destas foi a italiana ENI - Empresa Nacional de Hidrocarbonetos, face à competição feita às grandes. Surge, então, o contrato de risco como uma forma da ENI conseguir produzir petróleo no Oriente Médio e África. É desta época a expressão "sete irmãs", para designar o cartel das grandes empresas^{3.26}.

Interessante, também, é a preocupação dos signatários de Achnacarry de preservar para si a atividade petrolífera, mas não poupar esforços, principalmente em termos de racionalização de custos, para manter o petróleo com preços baixos. Entendiam que, assim, sempre haveria mercado. De certa forma, também era esta a preocupação de John D. Rockefeller na Standard Oil.

Apesar da atividade ser controlada por grandes empresas, que até determinavam o preço do petróleo, neste segundo período surgem diversos tipos de empresa, algumas só produzindo o petróleo, outras só refinando e assim por diante. Isto porque fora estabelecida a possibilidade das trocas comerciais entre as empresas. Ademais, a dissolução da Standard Oil, devido à lei

3.24 Castelo na Escócia onde ocorreram uma série de reuniões que culminaram na assinatura de um acordo em 17 de Setembro de 1928.

3.25 O sistema de preços "Golfo Plus" estabelecia que todos os petróleos teriam preços equivalentes, segundo um critério de densidade, no Golfo-EUA, e para os demais mercados haveria o custo do frete, admitindo-se como ponto de partida o Golfo. Assim, o petróleo era mais barato no Golfo e as grandes empresas faturavam fretes inexistentes.

3.26 As "sete irmãs" são as empresas citadas, mais as seguintes: Mobil Oil, Gulf, Texaco e a Standard Oil da Califórnia (Marinho, 1989, p.68)

anti-truste, e a acusação de cartel sobre as grandes empresas, provavelmente fazia com que estas empresas procurassem conviver com as pequenas.

É também neste segundo período que o petróleo passa a ser a principal fonte de energia do mundo, conforme indicado na tabela 3.8. Torna-se o produto de maior comércio entre as nações. Principalmente durante a segunda grande guerra, o controle da produção de petróleo torna-se sinônimo de poder. Os aspectos estratégicos e a importância econômica serão os grandes impulsionadores do surgimento de um grande número de empresas estatais em diversos países, que teriam o monopólio da atividade petrolífera nos respectivos países.

TABELA 3.8
CONSUMO PORCENTUAL DE ENERGIA NOS EUA.

ANO	HIDRELETRICIDADE	CARVÃO	GÁS	PETRÓLEO
1899	3,2	89,1	3,2	4,5
1904	3,3	87,0	3,1	6,6
1909	3,6	85,1	5,6	7,7
1914	3,9	82,0	3,9	9,7
1919	3,8	78,0	4,3	12,1
1929	3,2	62,0	8,0	24,0
1939	3,6	50,9	11,6	33,8
1950	4,7	37,8	18,0	39,5
1960	3,6	23,2	28,4	44,8
1965	3,8	22,9	29,9	43,3

Fontes: (TUGENDHAT, 1968, p.231 ; WILLIAMSON, , p.169 e 671)

Um outro aspecto importante ligado à segunda fase do refino, foi o início e rápido crescimento do uso de alguns derivados de petróleo para a obtenção de produtos petroquímicos. De certa forma, pode-se dizer que o produto mais famoso até o início da segunda guerra mundial era a borracha. Como os japoneses dominaram as fontes de borracha natural do oriente médio, os EUA e a Inglaterra ficaram sem suprimento. Estes conseguiram produzir borracha sintética a partir do estireno e do butadieno. O butadieno foi obtido dos butanos existentes nos gases de refinaria.

Como nos derivados de petróleo existe uma série de compostos químicos, foram feitas diversas pesquisas, que culminaram com a obtenção de novos produtos. Destacam-se: plásticos, detergentes, fibras sintéticas e fertilizantes.

3.3.2 O MERCADO DA SEGUNDA FASE - A GASOLINA

3.3.2.1 O APARECIMENTO DO AUTOMÓVEL

O produto que caracteriza este segundo período do refino é, sem dúvida, a gasolina. O refino se desenvolve principalmente no sentido de produzir uma maior quantidade de

gasolina. Foram criados processos e aditivos para melhorar a qualidade da gasolina, principalmente quanto ao índice de octanos. A gasolina torna-se o derivado mais caro.

As primeiras experiências relatadas com protótipos de motores com pistões ocorreram em 1680, na França. Porém, as experiências só chegaram a bom termo no início do século dezanove. Em 1876, o alemão Nikolaus August Otto adapta o princípio a um motor com um ciclo de quatro tempos, que é praticamente o motor usado até hoje (WILLIAMSON et alii, 1963, p. 184).

Nos vinte anos seguinte, houve um importante desenvolvimento dos motores de ciclo Otto. No entanto, nesta época, esses motores só eram usados para a geração de energia, e apenas onde produzir iluminação por outro meio fosse muito caro. Esses motores utilizavam gasolina ou querosene, combustíveis caros para a época. Assim, os motores de combustão interna não competiam com os engenhos movidos a vapor, que empregavam combustíveis mais baratos, como o carvão.

Foi neste contexto que surgiu o motor diesel. Visando a utilização de combustíveis mais baratos, Rudolph Diesel pesquisou uma maneira de um motor de combustão interna poder usar outros combustíveis mais baratos. Em 1895 surge o primeiro motor diesel, que rapidamente passa a ser usado no transporte marítimo.

Acredita-se que o primeiro automóvel tenha sido construído na Alemanha, por volta de 1885, por Gottlieb Daimler e Karl Benz. Mas o carro iria se popularizar rapidamente nos EUA, principalmente depois que Henry Ford apostou que o barateamento do custo dos automóveis levaria à popularização do uso. Para isto, Ford utilizou o conceito de produção em série. O modelo T foi lançado ao preço de US \$ 400,00 em 1916^{3.27}.

O rápido crescimento da indústria automobilística americana pode ser verificado na tabela 3.7, que mostra as vendas anuais de carros nos EUA, nas duas décadas deste século.

TABELA 3.7

VENDAS ANUAIS DE VEÍCULOS NOS EUA

ANO	VEÍCULOS VENDIDOS
1904	21692
1909	126593
1914	569054
1919	1683916

Fonte: (WILLIAMSON et alii, 1963, p.190)

É interessante se observar que a produção americana de veículos em 1919 era bastante superior à atual produção brasileira, a ordem de 900 mil veículos por ano.

3.27 Por volta de 1916 um trabalhador ganhava cerca de US \$ 20,00 por semana. Assim, eram necessárias 20 semanas de trabalho para a compra de um carro. No Brasil, atualmente, são necessários cerca de 120 salários mínimos para a compra do modelo mais simples.

3.3.2.2 OS PRINCIPAIS PRODUTOS DO MERCADO

Face à grande demanda de gasolina, determinada pelo crescimento da frota de veículos, uma série de outros produtos foram obtidos compulsoriamente do refino do petróleo e entraram no mercado, deslocando outras fontes de energia ou competindo com matérias primas. É o caso do óleo combustível, de certa forma um "resíduo" do processamento. É também o caso das naftas petroquímicas e gases liquefeitos, que competiram com outras materiais e com a borracha natural.

Mas o produto mais influenciado pela gasolina é o asfalto. Desde o final do século XIX as refinarias da Califórnia já produziam asfalto, na ocasião também chamado de "óleo de estrada". A partir do crescimento da frota de veículos, aumenta bastante a procura por asfalto. Segundo um estudo sobre o consumo de gasolina nos EUA para o período de 1925-1938, os principais fatores relacionados ao consumo eram o número de veículos em circulação, seu preço e o crescimento das auto estradas^{3.28} (WILLIAMSON e DAUM, 1959, p.654).

Um outro aspecto interessante ligado ao consumo de gasolina é o início da arrecadação de impostos, que teria se iniciado em 1919 quando o estado de Oregon, nos EUA, introduziu a taxa de 1 centavo de dolar por galão. Em pouco tempo, todos os demais estados americanos introduziram taxas para a venda de gasolina. Estima-se que, entre 1919 e 1929, a receita obtida pelo estado americano com a venda de gasolina tenha sido da ordem de 1,5 bilhão de dolares; no mesmo período, estima-se, também, que tenha sido gasto cerca de 1 bilhão com a construção de rodovias^{3.29}.

O óleo combustível, ao contrario da gasolina e dos lubrificantes, encontrou no mercado outros energéticos concorrentes, particularmente o gás natural, o carvão e, também, a energia elétrica. Para ganhar o mercado, o óleo foi comercializado a preços inferior ao do carvão.

O consumo de querosene no período continuou a crescer, apesar do crescimento do uso da iluminação elétrica, porque passa a ser usado para a coacção de alimentos e calefação ambiental em substituição à madeira e o carvão, até mesmo em regiões rurais. Curiosamente, na primeira fase do refino a gasolina era mais barata; depois, com o aumento do consumo, ficou bem mais cara que o querosene. No início dos anos trinta, praticamente o preço da gasolina se iguala ao do querosene. Com preços semelhantes haverá uma preferência pela gasolina.

3.28 Em outras palavras, para aumentar o consumo de gasolina era necessário asfaltar mais estradas. Analogamente, aumentando a circulação de veículos, aumentava a necessidade de estradas em boas condições.

3.29 A questão do preço ao consumidor da gasolina é pouco entendido até hoje no Brasil, por este ter imbutido uma série de impostos e outros custos. Esta prática de arrecadar recursos, via tarifação da gasolina, iniciou-se nos EUA, como uma forma de financiar a construção de rodovias.

A seguir apresenta-se a tabela 3.8, que mostra a evolução da produção dos principais derivados nos EUA, bem como a exportação desses produtos.

TABELA 3.8
DEMANDA E EXPORTAÇÕES DE DERIVADOS DE PETRÓLEO DOS EUA

ANO	GASOLINAS		QUEROSENES		COMBUSTÍVEIS		LUBRIFICANTES	
	P	E	P	E	P	E	P	E
1899	6,6	6,4	29,5	58,5	7,3	6,9	4,8	34,7
1909	12,8	11,6	40,0	64,2	41,5	10,4	12,9	26,5
1914	34,8	13,2	46,5	59,3	89,0	12,7	12,5	37,5
1919	97,8	9,3	58,7	41,5	180,3	9,1	20,2	32,7
1924	225,4	12,8	58,7	37,4	328,0	11,3	27,2	33,4
1929	442,3	13,8	57,3	34,9	454,3	8,6	34,5	31,4
1939	600,1	7,4	68,7	11,9	508,0	9,7	35,6	33,4
1944	733,0	13,5	76,7	6,4	777,3	7,2	41,1	21,2
1948	780,7	5,8	97,7	8,8	761,6	5,1	46,0	24,1
1950	1035,0	3,1	110,0	3,1	1015,0	3,1	40,0	3,1
1955	1290,0	3,8	190,0	3,8	1260,0	3,8	43,0	3,8
1959	1520,0	2,4	220,0	2,4	1300,0	2,4	45,0	2,4

P: PRODUÇÃO, EM MILHÃO DE BBL/ANO

E: % DA PRODUÇÃO QUE É EXPORTADA

Para os anos de 1950, 1955 e 1959, por falta de dados considerou-se a porcentagem de exportação igual para todos os derivados.

Ao se analisar a evolução da demanda dos derivados de petróleo, é interessante se observar o crescimento da demanda dos gases liquefeitos de petróleo: butanos, propanos e a mistura desses gases. Esses derivados surgiram como sub-produtos dos processos de produção da gasolina. Com o crescimento da indústria petroquímica, parte deles passou a ser utilizada como matéria-prima, em particular os etenos, propenos e propilenos. O restante começou a ser utilizado na cocção de alimentos, em substituição a diversos energéticos, inclusive outros derivados de petróleo, como a gasolina, o querosene e o óleo diesel^{3.30}.

No entanto, o GLP nunca teve uma importância semelhante à dos outros derivados. Nos textos especializados que tratam do período ora analisado, poucas referências são feitas ao GLP, aparentemente tratado como um sub-produto. Assim, sua demanda parece ter crescido devido à necessidade de produzi-lo.

A seguir, na tabela 3.9, apresenta-se alguns preços praticados na ocasião. Pode-se observar a tendência de barateamento dos derivados.

3.30 Nos EUA é comercializado um produto muito semelhante ao óleo diesel, que se destina à calefação; é chamado de óleo combustível número dois.

TABELA 3.9
PREÇOS DO PETRÓLEO E DE SEUS DERIVADOS

ANO	PETRÓLEO	GASOLINA	PREÇOS EM US\$/BBL	
			QUEROSENE	ÓLEO COMBUSTÍVEL
1919	2,05	10,64	5,48	1,2
1921	1,85	10,93	5,77	1,00
1925	1,80	8,37	5,44	2,00
1929	1,60	7,49	6,03	0,70
1935		6,28	4,20	1,00
1941		5,02	4,18	1,20

3.3.3 A TECNOLOGIA E OS PROCESSOS DE REFINO

Nesta segunda fase do refino desenvolveu-se grande parte da tecnologia existente até hoje. As pesquisas ocorreram principalmente no sentido de se aumentar a produção de gasolina. Os grandes marcos dessa época foram: a consolidação das unidades contínuas de destilação, o desenvolvimento dos processos térmicos, o início dos processos catalíticos, a conquista da tecnologia dos hidrotratamentos e o surgimento de aditivos notadamente melhoradores da qualidade da gasolina.

A seguir, comenta-se sinteticamente essas tecnologias.

3.3.3.1 OS PROCESSOS CONTÍNUOS E AS PLANTAS DE GASOLINA NATURAL

No início do século houve uma série de pesquisas nos EUA no sentido de se melhorar o processo de destilação, que permanecia por bateladas. Por volta de 1920, face ao desenvolvimento de bombas hidráulicas capazes de bombear petróleo e derivados quentes, as unidades de destilação se aproximaram bastante das atuais, ou seja, um processo contínuo e multi estágios.

Um dos resultados da melhoria das plantas de destilação foi a melhoria da qualidade da gasolina. No entanto, principalmente durante a primeira guerra mundial, ficou difícil atender o mercado de gasolina. Começou-se, então, a se elevar o ponto final da gasolina, da seguinte forma: em 1910 o máximo admitido era 137 °C., em 1915 era 188 °C. e em 1919 221 °C. Em outras palavras, adicionou-se mais produtos pesados à gasolina.

Com a elevação do ponto final da gasolina, começou-se a pesquisar a adição de produtos leves, para não mudar muito as características da gasolina. Uma das fontes de produtos leves estudada foi a fração leve normalmente perdida do petróleo.

Face ao desenvolvimento de equipamentos, como bombas e compressores de alta pressão, e de processos industriais, como a absorção, foram construídas instalações que permitiam a separação do petróleo, e posterior incorporação à gasolina, dos butanos, pentanos e hexanos.

3.3.3.2 CRAQUEAMENTO TÉRMICO E CATALÍTICO

O princípio do craqueamento térmico, é a quebra de moléculas por efeito de aquecimento, formando moléculas menores. O processo é controlado por atuação na temperatura e no tempo de aquecimento. De certa forma, o processo é conhecido desde os primórdios do refino, quando praticava-se a destilação destrutiva. No entanto, os processos de craqueamento térmico tornam-se importantes com o crescimento do consumo da gasolina, observado principalmente a partir da primeira guerra mundial.

O processo industrial que teve uma grande importância foi o chamado "Burton-Clark", desenvolvido pela Standard Oil de Indiana, EUA. O processo incorporou a tecnologia mais moderna de então. As cargas deste tipo de unidade eram as frações de maior peso molecular que o querosene, ou seja, semelhantes ao atual óleo diesel, que eram aquecidas em um forno e depois, mantidos em um reator; por fim, os gases eram separados em uma torre fracionadora. Em resumo, a unidade combinava uma seção de craqueamento térmico com uma seção de destilação contínua.

Os processos térmicos foram aperfeiçoados, tornando-se importantes processos industriais, particularmente em termos de produção de gasolina. Outros processos surgiram com base no mesmo princípio do craqueamento térmico, sendo utilizados entretanto, com outras cargas e objetivando outros produtos: destaque-se a viscoredução e o coqueamento retardado. Estas últimas tem por objetivo reduzir a produção de óleo combustível obtendo-se produtos mais leves e, portanto, de maior valor comercial.

Os processos térmicos dão origem a produtos instáveis quimicamente^{3.31}. Em 1915 descobriu-se que o cloreto de alumínio catalisava reações de craqueamento de frações de petróleo (Avidan et alii, 1990). Passou-se, então, a pesquisar processos catalíticos para a produção de gasolina. Em 1942, como resultado de diversos estudos, inclusive em plantas pilotos, entra em operação a primeira unidade industrial de craqueamento catalítico de 13300 barris/dia, na refinaria de Baton Rouge, da Standard Oil. A concepção desta unidade é muito semelhante aos atuais craqueamentos catalíticos. Por exemplo, a temperatura do regenerador da unidade foi projetado para 558°C, bastante alta, tendo em vista que atualmente poucas unidades de craqueamento catalítico operam com temperaturas superiores a 700°C.

As unidades de craqueamento catalítico rapidamente transformam-se nas principais unidades produtoras de gasolina. Como o consumo de gasolina crescia bastante, essas unidades permitiam a produção de gasolina a partir de frações antes destinadas a produção de óleo combustível. Além do aumento da quantidade de gasolina, a qualidade também era boa, principalmente em termos de octanagem.

É importante ressaltar que, neste período, a destilação a vácuo já era conhecida e utilizada, principalmente na produção de óleos lubrificantes. Com o desenvolvimento da tecnologia do craqueamento catalítico, concluiu-se que a carga ideal seria o

3.31 Produtos que tendem a formar borras e depósitos nos motores.

produto de topo das torres de vácuo. Essa corrente, com o tempo passou a ser chamada de gasóleo.

Em resumo, com o advento da unidade de craqueamento catalítico, as refinarias americanas passaram a ter uma configuração padrão e que, só após o segundo choque do petróleo, começou a mudar. O esquema básico é: unidade de destilação atmosférica, destilação a vácuo e craqueamento catalítico.

Na Europa, como o consumo de gasolina nunca foi tão forte como nos EUA, e, paralelamente, havia um consumo grande de óleo diesel^{3.32} e também de óleo combustível, é a unidade de reforma catalítica que por longo tempo, fez parte do esquema básico europeu.

3.3.3.3 A UNIDADE DE REFORMA CATALÍTICA E O CHUMBO TETRAETILA

O fenômeno batida de pino começou a ser mais pesquisado por volta de 1916. Os primeiros estudos ocorreram quando comparou-se o funcionamento de motores com gasolina e com querosene. Notou-se, então, o melhor funcionamento do motor com a queima de gasolina.

As pesquisas iniciaram-se durante a primeira guerra mundial, quando procurou-se desenvolver um combustível apropriado para os motores de avião^{3.33}. O primeiro combustível proposto foi uma mistura de 70% de ciclohexano com 30% de benzeno. Na ocasião, constatou-se a adequabilidade do combustível. Só mais tarde verificou-se que a mistura tinha 75 pontos de octanagem (WILLIAMSON et alii, 1963, p.410).

Na sequência dos testes, correlacionou-se a estrutura molecular com propriedades anti-detonantes. Em 1922 testou-se, com sucesso, o chumbo tetraetila. Surgiram, então, algumas empresas especializadas na produção desse produto, destacando-se a Du Pont e a Ethyl Corporation, nos EUA.

Curiosamente, só em 1928 é que representantes das principais empresas de petróleo reuniram-se com os principais fabricantes de automóveis e representantes do governo, para proporem um teste padrão para verificar a tendência de batida de pino das gasolinas. Surge, então, o famoso teste de octanagem, baseado na performance, em um motor padrão, de misturas de n-heptano com isoctano.

A descoberta do chumbo tetraetila foi considerada uma grande conquista tecnológica, permitindo o desenvolvimento dos motores dos automóveis. É claro que, na ocasião, não eram conhecidos os problemas causados pelo chumbo. A seguir, na tabela 3.10, mostra-se a evolução da octanagem da gasolina e as taxas de compressão dos automóveis produzidos.

3.32 Usado também para a calefação.

3.33 Os primeiros aviões tinham motores do ciclo Otto, semelhante ao dos automóveis. Só mais tarde apareceram os motores a jato, usando como combustível o querosene.

TABELA 3.10
OCTANAGEM DA GASOLINA E TAXAS DE COMPRESSÃO

ANO	TAXA DE COMPRESSÃO	OCTANAGEM DA GASOLINA	
		Prêmio	Regular
1930		63	74
1932	5.29	64	77
1934	5.72	72	78
1936	6.14	72	78
1938	6.32	74	83
1940	6.41	78	83
1941	6.60	80	85

Fonte: (WILLIAMSON et alii, 1963, p.807)

A seguir, na tabela 3.11, se apresenta o consumo de gasolina nos EUA, destacando-se a percentagem produzida por tipo de unidade.

TABELA 3.11
PRODUÇÃO DE GASOLINA POR TIPO DE PROCESSO NOS EUA
(MILHÃO DE BARRIS/DIA)

ANO	TOTAL	DESTILAÇÃO DIRETA	GRAQUEAMENTOS		GAS. NATURAL	REFORMA
			TERMICO	CATALÍTICO		
1919	0,27	0,21	0,04	—	0,02	—
1924	0,62	0,46	0,10	—	0,06	—
1929	1,21	0,68	0,40	—	0,15	—
1932	1,09	0,54	0,47	—	0,07	—
1934	1,16	0,57	0,51	—	0,08	—
1936	1,40	0,64	0,67	—	0,09	—
1939	1,66	0,73	0,82	—	0,11	—
1941	1,86	0,59	0,90	0,04	0,13	0,18
1942	1,73		0,90	0,66		0,22
1946	2,17		0,83	0,38		0,27
1955			0,73	2,62		0,93

Fonte: (WILLIAMSON et alii, 1963, p. diversas, e NELSON, W. p. 759)

As unidades de reforma catalítica tiveram o seu desenvolvimento pesquisado, não pela necessidade de produzir uma alta octanagem, como poderia parecer atualmente, mas sim, alas construídas para permitir a obtenção de outros produtos.

Por volta de 1928, havia uma série de pesquisas com os processos catalíticos sendo feitos por empresas e universidades. Assim, em 1928, uma subsidiária da Standard Oil comprou os estudos do processo de reforma catalítica e desenvolveu a

tecnologia.O processo consiste em alterar a natureza dos compostos da carga da unidade por atuação do catalisador. Em outras palavras, a carga da unidade é uma nafta de destilação direta, formada principalmente por cadeias lineares e, portanto, de baixa octanagem .O produto reformado é rico em compostos aromáticos, como o tolueno e o benzeno, e em olefinas. Esses compostos têm uma alta octanagem.

Face à difusão do uso do chumbo tetraetila, que permitia o uso das naftas de destilação direta como gasolina, sem alterar a oferta de gasolina - ao contrário das unidades de craqueamento catalítico que permitiam o aumento do rendimento de gasolina em relação ao petróleo - as unidades de reforma catalítica despertaram interesse apenas pela possibilidade de produzirem outros produtos.Por volta de 1930 o grande interesse era a produção de tolueno^{3.34}. A unidade produzia também componentes utilizáveis como gasolina de aviação.

Com o passar do tempo, as unidades de reforma catalítica foram sendo utilizadas para produzir benzeno ,tolueno e xileno , produtos básicos para a indústria petroquímica. Na Europa, face às suas peculiaridades de mercado, as unidades de reforma foram utilizadas para a produção de gasolina.

3.3.3.4 OUTRAS UNIDADES DE REFINO

Nêste ponto, é importante ressaltar que, por volta de 1950, já eram conhecidos e disponíveis praticamente todos os processos existentes hoje, ou seja , já existiam unidades de coqueamento retardado,viscorredução,e unidades de hidrotratamento e desasfaltação a propano.

Essas unidades eram utilizadas para objetivos bem determinados. Por exemplo, as unidades de desasfaltação eram utilizadas na produção de óleos lubrificantes. As unidades de hidrotratamento eram utilizadas apenas para a produção de óleo diesel e gasolinas em refinarias que se utilizavam de petróleos de alto teor de enxofre.

Como o mercado de gasolina evoluiu no sentido de exigir produtos de maior octanagem , por volta de 1956 foi lançada nos EUA a gasolina prêmio, de octanagem pesquisa igual a 100^{3.35}. Para produzir esta gasolina,foram feitas as unidades de alquilação, onde,a partir de butenos e isobutanos,se produz o isoctano.

3.34 Este produto era usado na produção do explosivo TNT-trinitro glicerina.

3.35 No Brasil, este tipo de gasolina ficou conhecido como gasolina de aviação.

3.3.4 AS REFINARIAS TÍPICAS DO SEGUNDO PERÍODO

Como já foi comentado, neste segundo período há vários tipos de empresas: as grandes multinacionais, que controlam desde a produção de petróleo até as etapas de distribuição, as empresas estatais, e também refinarias independentes.

Em termos de refinarias, há dois tipos básicos neste período. O esquema mais difundido nos EUA objetiva atender à alta demanda de gasolina e relativamente pouca dos outros derivados. O esquema é composto por uma unidade de destilação, uma destilação a vácuo e uma unidade de craqueamento catalítico. Pode haver, também, uma unidade de reforma.

O outro esquema foi o mais difundido na Europa, para hipótese atender a um consumo grande de gasolina, derivados médios e, também, óleo combustível. O refino era feito em uma unidade de destilação, uma unidade de reforma catalítica e uma unidade de viscorredução.

É claro que existiam outras unidades com finalidades específicas. Por exemplo, refinarias adaptadas para petróleos com um alto teor de enxofre tinham unidades de hidrodesulfurização.

A seguir, apresenta-se, de uma forma esquemática, estes dois tipos básicos de refinarias da época.

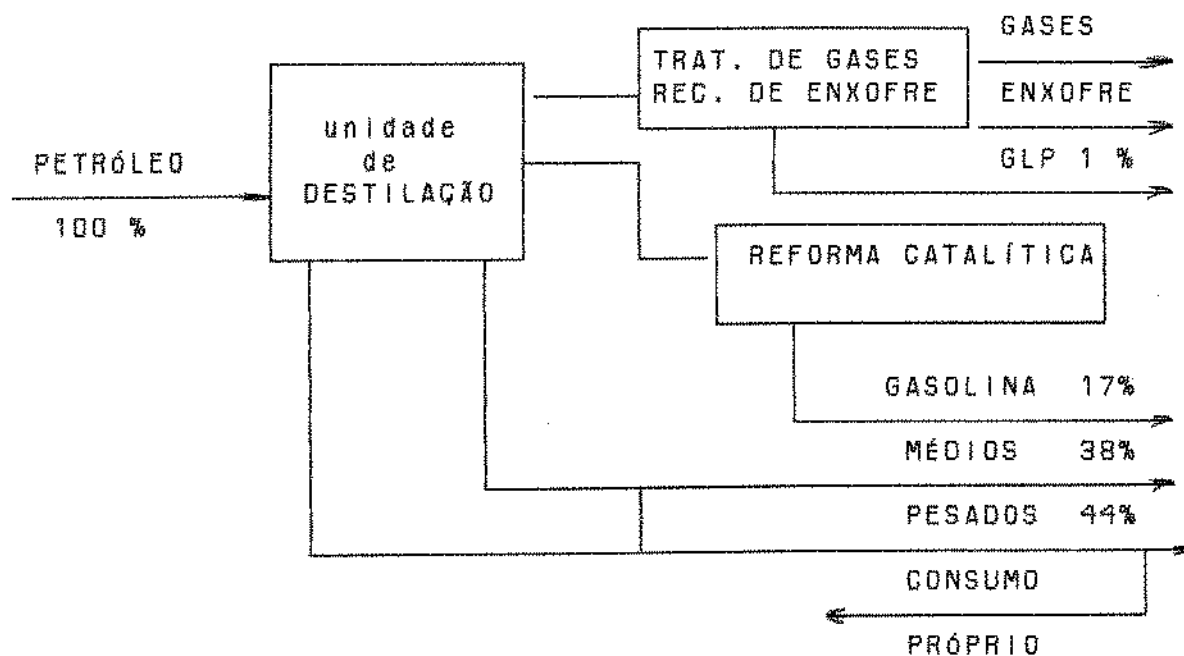


Figura 3.2 - Esquema de refino nº 1, típica da 2ª fase.

Na figura 3.2 se apresenta um esquema de refino bastante difundido na Europa e em outras partes do mundo, como a África e alguns países da América Latina. Uma alteração possível do esquema acima seria a não existência da unidade de reforma catalítica. Neste caso, não haveria mudanças significativas no

TABELA 3.12
RENDIMENTOS COMPARATIVOS DOS DOIS ESQUEMAS DE REFINO

PRODUTO*	ESQUEMA 1	ESQUEMA 2
GLP	1,00	6,60
GASOLINA	17,00	28,60
MEDIOS	38,00	36,80
PESADOS	44,00	29,00
CONSUMO E PERDAS	1,43	2,50

* Rendimentos estimados para um petróleo leve do tipo árabe leve.
Fonte: (AALUND, 1976.)

3.3.5 LUCRATIVIDADE E MARGEM DE REFINO

Após o acordo entre as grandes empresas de petróleo, pode-se dizer que a atividade passa por um apogeu. Como o refino na época era ainda uma atividade de alta tecnologia, tinha garantido uma boa lucratividade. Destacam dois períodos. O primeiro, com a atividade ainda controlada pelas empresas americanas, e o segundo período quando já é de grande importância o mercado de Rotterdam e a vigência do sistema de preços Golfo Plus.

Apresenta-se, a seguir, a tabela 3.13, com as margens de refino obtidas nos EUA.

TABELA 3.13
MARGEM DE REFINO MÉDIO DE 1929 A 1941

ANO	MARGEM DE REFINO US \$/BARRIL	PREÇO MÉDIO DO PETRÓLEO US \$/BARRIL
1929	1,21	1,27
1930	1,18	1,19
1931	0,92	0,65
1932	0,75	0,87
1933	0,84	0,67
1934	0,73	0,99
1935	0,84	0,97
1936	0,79	1,09
1937	0,85	1,18
1938	0,77	1,13
1939	0,83	1,02
1940	0,80	1,02
1941	0,96	1,14

Fonte: (WILLIAMSON et alii, 1963, p.539 e 689)

É interessante notar que a margem de refino se situou próxima ao preço do petróleo no período analisado, indicando uma alta lucratividade.

A seguir, na tabela 3.14, se apresenta as margens de refino estabelecidas para o sistema de preços Golfo Plus, tendo como base o esquema de refino apresentado na figura 3.2.

TABELA 3.14				
MARGENS DE REFINO E PREÇOS DE PETRÓLEO				
ANO	COMPOSTO ROTTERDAN	MARGEM DE REFINO	PREÇO TRANSPORTE	PREÇO GOLFO
1960	2,47	0,36	0,61	1,50
1961	2,45	0,34	0,61	1,50
1962	2,54	0,34	0,59	1,61
1963	2,49	0,31	0,59	1,59
1964	2,13	0,31	0,53	1,29
1965	2,02	0,32	0,53	1,17
1966	2,12	0,33	0,52	1,27

Fonte: (ALDEMAN, 1972, p.183)

3.4 A TERCEIRA FASE DO REFINO

3.4.1 ASPECTOS GERAIS

Uma série de mudanças ocorreram na indústria do petróleo nas duas últimas décadas, caracterizando o início de uma terceira fase do refino.

Já no final dos anos cinquenta e início dos anos sessenta os países produtores de petróleo estavam descontentes com o baixo preço pago pelas grandes empresas de petróleo, o que tornava as outras atividades do ramo, como o refino, o transporte e a comercialização altamente lucrativas e sem riscos. A tabela 3.15 mostra os preços pagos a alguns países produtores e o preço de realização em Roterdan.

TABELA 3.15
PREÇOS PAGOS PELO PETRÓLEO A PAÍSES PRODUTORES E PREÇO DE
REALIZAÇÃO EM ROTERDAN
(CENTAVOS DE DOLAR POR BARRIL)

ANO	KUWAIT	ARÁBIA	IRAN	MÉDIO ORIENTE	VENEZUELA	REALIZAÇÃO ROTTERDAM
1957	79,8	88,2	86,8	85,7	103,0	
1960	76,4	75,0	80,1	77,7	89,2	247
1962	74,8	76,5	74,5	75,9	97,2	254
1964	76,9	82,0	81,8	78,4	95,4	213
1966	78,4	83,4	83,2	81,1	95,8	212
1968	80,5	87,8	83,7	85,0	101,4	253
1970	82,9	88,3	80,8	85,8	109,2	272

Fonte: (ALDEMAN, 1972)

Os valores apresentados na tabela 3.15 são os valores de negociação com os governos dos países produtores. O preço efetivamente pago depende de cada contrato. Na época, o mais comum era descontar-se do preço os custos da empresa produtora, e o "lucro" assim apurado era dividido na base de 50% para a empresa e 50% para o país produtor do petróleo.

Pode-se verificar, portanto, que a parcela que ficava para o país produtor era pequena, em relação ao valor dos derivados obtidos. Como resultado do descontentamento dos países produtores, formou-se, em 1960, a Organização dos Países Exportadores de Petróleo - OPEP (Aldeman, 1972, p.207).

Aos poucos, os países membros foram se impondo cotas de produção e começando a atuar no preço do petróleo, alterando o equilíbrio de forças entre os principais produtores de petróleo e as grandes empresas que até então controlavam a atividade. Além da organização da OPEP, favoreceu ao fortalecimento dos países produtores a evolução da relação reservas/consumo, que, no início dos anos setenta, atingiu o patamar mínimo histórico de 11 anos. A tabela 3.16 mostra as reservas mundiais e o consumo.

TABELA 3.16
RESERVAS E CONSUMO DE PETRÓLEO

ANO	RESERVAS(1) 10 ⁹ BBL	CONSUMO(2) 10 ⁶ BBL/D	(1)/(2) ANOS	CONSUMOS(10) ⁶		BBL/D)
				GASOLINA	DIESEL	COMBUSTÍVEL
1970	470,5	39,05	12,04	11,27	10,83	11,05
1973	529,7	47,48	11,03	13,70	13,30	13,43
1976	554,5	47,58	11,68	14,16	13,18	12,62
1978	551	51,58	10,68	15,05	15,39	12,88
1982	584	46,27	12,62	14,07	14,07	9,82
1985	615,7	46,25	13,31	14,57	15,04	8,05
1987	620,5	48,44	12,81	15,4	15,98	7,98
1988	608,1	*50,45	16,01			
1990	610,7	*49,63	18,35			

* Estimado com base do consumo dos EUA, como mostrado na tabela 3
Fonte: (ANDERSEN, 1990, p.88-89)

Em 1973 quando o petróleo estava sendo comercializado com o preço básico de 3,00 US\$/barril, ocorre o chamado "primeiro choque do petróleo"; em consequência, o preço de comercialização passa a ser 12,00 US\$/barril. As tabelas 3.17 e 3.18 mostram as variações dos preços médios do petróleo.

TABELA 3.17
PREÇOS NO PERÍODO DE 1960 A 1971, EM US\$/BBL

ANO	SEM.*	DIESEL	GASOLINA	O.COMB.	PETRÓLEO NOMINAL	MARGEM REFINO	PETRÓLEO VENDEDOR
1960	2	3,15	2,54	1,91	2,47	0,36	2,11
1961	1	3,19	2,80	1,93	2,41	0,34	2,07
1961	2	3,35	2,82	1,78	2,50	0,34	2,16
1962	A	3,53	2,69	1,78	2,54	0,34	2,20
1963	A	3,70	2,27	1,79	2,49	0,31	2,07
1964	A	2,81	2,18	1,74	2,13	0,31	1,82
1965	A	2,39	2,23	1,81	2,02	0,32	1,70
1966	A	2,80	2,48	1,72	2,12	0,35	1,77
1967	1	2,44	2,56	1,70	2,05	0,32	1,73
1967	2	3,86	4,66	2,10	3,24	0,32	2,92
1968	A	3,40	3,02	1,76	2,53	0,31	2,22
1969	A	3,11	2,31	1,51	2,04	0,31	1,73
1970	1	2,77	2,10	2,10	2,24	0,31	1,93
1970	2	3,86	2,73	3,33	3,19	0,31	2,88
1971	1	4,33	3,03	3,28	3,43	0,31	3,12

* Na segunda coluna, o número 1 refere-se ao primeiro semestre do ano, enquanto a letra A refere-se a média anual.

TABELA 3.18
PREÇOS E CONSUMO DE ALGUNS DERIVADOS

ANO	PREÇOS US\$ /BBL					CONSUMO 10 ⁶ BBL/D
	PETRÓLEO ROTTERDAM	PETRÓLEO MÉDIO USA	GASOLINA (1) (2)		DIESEL (1)	
1960	1,68	2,88				
1965	1,42	2,86				
1970	1,21	3,18				6330
1971	1,69	3,39				
1972	1,90	3,54				
1973	2,64	3,89				7250
1974	10,98	6,83				6960
1975	10,43	7,67				7060
1976	10,80	13,34	16,54	25,79	17,05	7430
1977	11,60	14,31	16,92	27,55	19,32	7640
1978	12,40	14,38	19,61	28,14	20,58	7850
1979	15,80	21,85	29,10	37,92	29,56	7510
1980	27,80	33,95	42,75	52,29	40,80	7090
1981	30,80	36,52	48,63	57,87	50,14	6910
1982	32,80	33,18	44,47	54,43	48,72	6830
1983	30,00	28,93	38,86	52,12	45,27	6920
1984	27,50	28,46	34,44	50,90	45,82	7060
1985	29,60	26,66	34,06	50,48	44,22	7090
1986	17,10	13,49	20,07	38,83	35,44	7290
1987	17,20	17,65	22,22	39,81	38,01	7520
1988	15,40	14,08	21,42	39,73		7350
1989		17,68	24,52	42,88		7320
1990		22,00	26,12	47,88		7200

(1) Preço na refinaria

(2) Preço ao consumidor

Fontes: (ANDERSEN, 1990, p.16-58); (BECK, 1987, p.33-43). (1991, p.49-57)

Com a elevação brusca dos preços do petróleo, há um forte impacto na economia da maioria dos países importadores de petróleo, que procuraram um novo ponto de equilíbrio, diminuindo a importação. Mas o petróleo estava ainda barato, em relação às outras fontes de energia; aos poucos, o impacto do preço maior foi sendo absorvido.

Para exemplificar o parágrafo anterior, pode-se observar na tabela 3.18: que o consumo de gasolina nos EUA cai em 1973, e retorna a um nível superior já em 1976.

Assim, em 1979, o consumo de petróleo atingiu um máximo

histórico, como pode ser observado na tabela 3.16^{3.37} e as reservas atingiram um valor mínimo. A consequência desta conjuntura internacional é o chamado "segundo choque do petróleo".

Na realidade, o que deflagra a elevação brusca do preço é o início da guerra entre o Irã e o Iraque, ambos grandes exportadores mundiais, que momentaneamente pararam de exportar. A tabela 3.19 mostra como em 1978 o mercado foi influenciado pela guerra.

TABELA 3.19
EXPORTAÇÃO DE PETRÓLEO DA OPEP
(MILHÃO DE BARRIS POR DIA)

ANO	IRÃ	IRAQUE	TOTAL GOLFO	TOTAL OPEP	IMPORTAÇÃO MUNDIAL	% OPEP
1970	3,31	1,50	11,74	20,22	20,82	97,12
1973	5,20	1,93	18,95	27,55	28,47	96,77
1975	4,87	2,06	17,22	24,06	25,70	93,82
1977	4,87	2,17	19,67	27,64	29,54	93,57
1978	4,45	2,38	18,59	26,09	20,94	90,15
1979	2,41	3,28	18,88	26,79	30,25	88,56
1980	0,80	2,46	15,94	22,84	26,55	86,03
1981	0,72	0,75	13,12	18,43	23,48	78,49
1982	1,62	0,81	8,93	14,24	20,06	71,00
1983	1,72	0,73	8,25	12,49	18,86	66,22
1984	1,52	0,86	7,62	11,98	18,74	63,93
1985	1,57	1,09	6,55	10,82	18,15	59,61
1986	1,45	1,37	8,26	12,78	19,78	64,61
1987	1,71	1,70	8,03	12,01	18,60	64,57

O segundo choque do petróleo teve um impacto muito grande nos países importadores, porque o suprimento ficou comprometido, isto é, momentaneamente faltou petróleo. Além do alto custo, houve um racionamento de derivados na maioria dos países. Assim, reascendeu-se o valor estratégico do petróleo e, de certa forma, o temor pelo seu término. Como se a humanidade tivesse esquecido que se tratava de uma fonte de energia esgotável, e de repente acabasse o petróleo.

A tentativa de se diminuir o consumo de petróleo vai ter uma grande influência no refino por duas razões. Até este período, o produto de maior consumo era a gasolina. Logo para diminuir o consumo de petróleo o caminho mais eficaz era diminuir

3.37 Até agora, o mundo não atingiu novamente o consumo de 1979, que era de 64,84 milhões de barris por dia.

o consumo de gasolina^{3.38}. Além disto, a gasolina, por ter o maior preço ao consumidor^{3.39}, poderia ser mais facilmente substituída. Desta forma, como pode ser observado na tabela 3.20, em 1982 o óleo diesel supera o consumo de gasolina. Esta é a grande mudança que caracteriza a terceira fase do refino^{3.40}.

Um outro fator de grande influência no refino, neste período, é a queda no consumo de óleo combustível. Apesar de ser o derivado mais barato, é também o mais fácil de ser substituído, como de fato ocorreu, principalmente por gás natural. A tabela 3.20 mostra claramente a queda do consumo de óleo combustível, em relação ao petróleo.

Assim, o refino de petróleo, antes orientado principalmente para a produção de gasolina, depara-se com um consumo crescente de óleo diesel, e uma acentuada queda no consumo do óleo combustível.

TABELA 3.20
CONSUMO MUNDIAL DE DERIVADOS, COMO PORCENTAGENS DO CONSUMO DE
PETRÓLEO

ANO	% GASOLINA	% DIESEL	% ÓLEO COMBUSTÍVEL	OUTROS
1970	28,82	27,70	28,28	15,19
1973	28,82	28,01	28,11	15,06
1976	29,76	28,17	26,53	15,54
1979	29,15	29,85	24,93	16,07
1982	30,40	30,40	21,22	17,98
1985	31,55	32,47	17,41	18,57
1987	31,75	32,88	16,48	18,87

Fonte: (ANDERSEN, A., 1988, p.16 e 17)

Pode-se dizer, também, que uma grande consequência do segundo choque do petróleo, foi a quebra da correlação, até então bastante forte, entre crescimento econômico (PIB) e consumo de energia, particularmente o consumo de petróleo. De certa forma, reascende-se as idéias de conservação e substituição do petróleo, principalmente devido ao seu preço e às suas reservas limitadas. A tabela 3.21 mostra o consumo de energia em relação ao PIB, para os EUA. A nível mundial, observa-se um comportamento semelhante.

3.38 Entre outras coisas, o consumo de gasolina sempre foi influenciado pelo preço. Assim, uma elevação no preço da gasolina via impostos reduzia o consumo e aumentava a arrecadação de impostos. Por outro lado, era a gasolina que praticamente determinava o volume de processamento de petróleo.

3.39 Em todos os países há uma carga tributária maior na gasolina em relação a outros derivados. Assim o preço ao consumidor da gasolina é sempre maior que dos outros derivados.

3.40 Como visto anteriormente, na primeira fase o produto mais procurado e de maior valor era o querosene, depois, na segunda fase, passa a ser a gasolina, e, finalmente, na terceira fase, é o óleo diesel.

TABELA 3.21
CONSUMO DE PETRÓLEO E ENERGIA NOS EUA

ANO	ENERGIA TOTAL (10 ⁶ barris/d)	PETRÓLEO (10 ⁶ barris/d)	ENERGIA/PIB (10 ³ BTU/US\$*)	PETRÓLEO/PIB (10 ³ BTU US\$*)
1970	31,2	13,7	27,8	12,2
1972	33,28	15,32	27,5	12,6
1973	34,52	16,18	27,1	12,7
1974	33,71	15,54	26,6	12,3
1976	34,55	16,34	26,3	12,4
1978	36,28	17,84	25,1	12,2
1979	36,66	17,26	24,7	11,6
1980	35,28	15,88	23,8	10,7
1982	32,92	14,04	22,4	9,5
1984	34,43	14,43	21,2	8,9
1986	34,48	14,96	20,0	8,7
1988	37,27	15,90	20,0	8,5
1990	37,61	15,65	19,5	8,1

* Dolares de 1982.

Fonte: (BECK, 1991)

Uma outra grande consequência para o refino está ligada à sua lucratividade, mensurada pela margem de refino. Quando houve a elevação brusca do preço do petróleo, o seu consumo permaneceu elevado, mas aos poucos foi caindo e derrubando o preço dos seus derivados. Assim entre 1981 a 1986 a margem de refino ficou negativa (GIRAUD e TOUR, 1987, p.275). Neste tipo de cálculo, admite-se uma refinaria do tipo 1 e o preço dos derivados e do petróleo em uma determinada região, normalmente a cidade de Roterdã.

Nesta fase, muitas refinarias foram fechadas, principalmente as mais antigas. As que sobraram, de um modo geral, investiram em programas ou unidades que permitiram diminuir a produção de óleo combustível e aumentar a oferta de derivados mais nobres^{3.41}. Na tabela 3.22 apresenta-se uma estimativa da variação da capacidade de refino na Europa, na década passada.

3.41 São unidades do tipo "aquecimento retardado", desasfaltação, viscosificação, etc. No Brasil, foram chamadas de unidades "fundo de barril".

TABELA 3.22
CAPACIDADE DE REFINO DE PAÍSES DA EUROPA
(MILHARES DE BARRIS POR DIA)

PAÍS:	1980	1988	% REDUÇÃO
BÉLGICA	1100	640	41
DINAMARCA	220	180	21
ALEMANHA	3080	1680	45
GRÉCIA	400	360	12
ESPAÑA	1440	1240	14
FRANÇA	3340	1980	41
ITÁLIA	3600	2360	34
HOLANDA	2040	1300	36
PORTUGAL	380	280	24
INGLATERRA	2740	1760	36
TOTAL	18340	11780	36

Fonte: (VIELVOYE, 1988)

A queda da capacidade de refino na década de 90 pode melhor ser observada na tabela 3.23, que permite uma visão a nível global.

TABELA 3.23
CAPACIDADE DE REFINO MUNDIAL
(MILHÃO DE BARRIS POR DIA)

REGIÃO	1970	1973	1976	1979	1980	1982	1983	1985	1988
A. NORTE	13,3	15,4	17,3	19,7	19,9	20,9	18,8	17,3	17,1
A. LATINA	4,8	6,4	7,4	8,2	8,6	8,7	8,0	7,7	7,1
EUROPA	14,6	17,1	20,3	20,4	20,3	19,8	17,6	16,1	14,1
O. MÉDIO	2,2	2,4	2,7	3,4	3,2	2,9	3,2	3,6	4,2
ÁFRICA	0,7	1,0	1,3	1,7	1,7	1,8	1,9	2,5	2,6
ÁSIA	5,2	7,8	9,4	10,1	10,4	11,0	10,9	10,4	10,3
SUB TOTAL	40,7	50,0	58,5	63,6	64,1	65,1	60,4	57,5	55,5
CHINA	0,4	1,0	1,2	1,6	1,8	1,8	2,0	2,1	2,2
URSS	5,7	7,0	9,1	10,6	11,0	11,6	11,7	12,2	12,2
OUTROS	1,4	1,9	2,3	2,7	2,9	2,9	2,9	2,9	3,1
SUB TOTAL	7,5	9,9	12,7	14,8	15,4	16,3	16,7	17,2	17,6
TOTAL MUNDO	48,2	60,0	71,1	78,3	79,5	81,4	77,1	74,8	73,1

Fonte: (ANDERSEN, 1989, p.84)

Na tabela 3.23 pode-se observar a queda da capacidade de refino ocorrida principalmente após 1981. É claro que, apesar de se tratar de um fato generalizado, ele ocorreu de maneira diferenciada nas diversas regiões. Por exemplo, foi muito

acentuada na Europa, entre outras razões face à grande disponibilidade de gás natural. Por outro lado os países exportadores de petróleo aumentaram um pouco a capacidade de refino. Os países então chamados de economia planejada tem a crise amenizada face às grandes reservas de petróleo da antiga URSS.

De 1973 a 1986 ocorreram uma série de fatos que mudaram rapidamente a atividade petrolífera. Tudo começou com o primeiro choque, motivado pelo baixo preço do petróleo, fortalecimento da OPEP e alta demanda do petróleo. Como a demanda continuou alta, ocorreu o segundo choque do petróleo. Com o preço alto do petróleo, a margem de refino tornou-se negativa, caiu o consumo, fecharam-se refinarias, e as reservas de petróleo aumentaram. As exportações de petróleo da OPEP diminuíram, conforme indicado na tabela 3.18. A OPEP que por deter o grosso das reservas exportáveis de petróleo^{3.42}, poderia controlar a atividade, sentiu que a atividade se desorganizava. Nas seções seguintes apresenta-se uma explicação para isto.

3.4.2 A CONSCIENTIZAÇÃO ECOLÓGICA - OU O TERCEIRO CHOQUE DO PETRÓLEO

O petróleo, desde que foi descoberto, tem apresentado uma forte elasticidade-preço. As mudanças bruscas de preço, que foram reflexos de mudanças na organização global da atividade foram chamadas de choques^{3.43}. O primeiro choque do petróleo acenou para o poder da OPEP, que, por deter grande parte das reservas, passou a ter grande influência na atividade. No segundo choque, a OPEP teve o poder de estipular os preços atuando na oferta do produto.

A OPEP deparou-se com o seguinte fato: a medida que mantinha o preço alto, menor era a sua participação no mercado. O alto preço incentiva o desenvolvimento de novos campos de petróleo, mesmo com elevados custos de produção. Incentiva, também, programas de substituição ou conservação de energia. Ao contrário, com um preço baixo do petróleo, muitos campos não teriam custos competitivos com os da OPEP; programas de substituição de energia seriam dificultados. Assim, o consumo de petróleo poderia se manter elevado e a OPEP atenderia grande parte do mercado.

3.42 Por reservas exportáveis se quer expressar a relação entre reservas de um país e o seu consumo. Assim, os EUA e a antiga URSS, apesar de terem grandes reservas, não são grandes exportadores, face ao consumo interno. Inclusive, os EUA são atualmente o maior importador de petróleo.

3.43 Por exemplo, em 1990, com a invasão do Kuwait pelo Iraque, os dois países pararam de exportar petróleo e, face ao temor de se alastrar a guerra, houve um aumento no preço do petróleo. Mas a guerra entre os dois países era um fato independente da organização global da atividade petrolífera, e, assim, rapidamente o preço retornou ao patamar anterior. Foi um evento bem diferente do primeiro e segundo choques do petróleo.

Com a queda do consumo do petróleo, e com o aumento das reservas e produção por outros países, começa a ocorrer uma nova reorganização da atividade. Muitas companhias de petróleo foram vendidas e os países da OPEP foram diversificando suas atividades, principalmente em termos de refino, comercialização e petroquímicas. Isto foi conseguido com a compra ou associação de empresas, ou mesmo aumentando as instalações industriais dos países membros. O principal motivo desta mudança de postura da OPEP foi a queda do valor obtido com a exportação. Em 1985 a OPEP obteve 133 bilhões de dólares, em 1986, mesmo aumentando o volume de petróleo exportado, obteve apenas 75 bilhões. Esta quantia foi considerada pequena para as necessidades dos países membros, que, em 1980 obtiveram 282 bilhões de dólares (VIELVOYE e WILLIAMS, 1988).

Movimentos semelhantes ocorrem com outros grupos, que se associam. Diminui a divisão entre refinadores e produtores de petróleo. A atividade torna-se mais integrada.

Deve-se analisar, também, porque, em 1986, foi introduzida a sistemática de preços chamada "netback". Enquanto a OPEP conseguiu controlar as exportações, isto era feito por contratos onde era fixado o preço. Com a queda do preço do petróleo, começa a ocorrer uma grande competição para se exportar petróleo e, assim, o mercado "spot"^{3.44} passa a ter uma maior importância. Muda-se, então, a sistemática de preços, introduzindo-se o conceito do netback^{3.45}. Convm notar que, face à maior integração da atividade, a nova sistemática de preços procurava, também, restabelecer a lucratividade do refino.

Curiosamente, em 1986, mesmo com o estabelecimento da nova sistemática de preço e apesar da existência da OPEP, o preço do petróleo cai bruscamente. Mas o consumo de petróleo não sobe nos anos seguintes. Ou seja a OPEP perde o controle da atividade, e, por outro lado, a elasticidade-preço do petróleo já não é tão forte. Aparentemente, há uma outra força atuando no mercado.

Por diversas razões, a humanidade passou a se preocupar com o meio ambiente. Se antes uma chaminé era sinônimo de progresso, passa a ser, agora, de preocupação. O automóvel, antes, símbolo de bem estar, passa a ser questionado, principalmente nos grandes centros. Em vários países começa a se questionar o consumo de energia, por uma razão diferente das tradicionais preocupações com balanço de pagamentos, ou puramente estratégicas: a preocupação com o meio ambiente.

Este é um dos motivos da estabilização do consumo da gasolina e do maior crescimento do consumo dos derivados médios^{3.46}.

3.44 Deve-se entender o mercado "spot" como os dos negócios a curto prazo.

3.45 A introdução do novo mecanismo de preços procurava disciplinar o mercado, evitando uma guerra de preços. Garantia também uma rentabilidade ao refino, principalmente para as unidades mais modernas.

3.46 Ao automóvel associou-se a idéia de uso individual, e facilmente substituível por alguma outra forma de transporte coletivo, muito provavelmente utilizando óleo diesel.

Por outro lado, face à maior conscientização ambiental, mudam os requisitos dos combustíveis. Por exemplo, do diesel exige-se cada vez mais um produto de baixo teor de enxofre. Para isto, é necessário aumentar significativamente o investimento e os custos operacionais do refino^{3.47}.

No caso da gasolina, as mudanças são ainda mais radicais. Em primeiro lugar, condena-se o uso do chumbo tetraetila. Aumenta muito a preocupação com a emissão de monóxido de carbono. O resultado é o uso de produtos oxigenados misturados à gasolina^{3.48}. Paralelamente, questiona-se a adição de produtos leves à gasolina, que terão de ser transformados em outros produtos. Desta forma, o atendimento dos novos padrões de qualidade aumenta muito o custo de produção da gasolina, e compostos provenientes de outras fontes de energia passam a ser consumidos junto com a gasolina.

Logo, uma força que começa a atuar fortemente no consumo de derivados de petróleo é a preocupação ambiental. Assim, não adianta o óleo combustível ter um preço baixo, para poder ser usado em um determinado empreendimento, se as emissões resultante da combustão não estiverem enquadradas nos padrões aceitos por aquela comunidade. Às vezes o investimento necessário para o tratamento dos gases inviabiliza o empreendimento. Pode-se afirmar que todos os derivados de petróleo tenderão a ter seus preços elevados, independentemente do preço do petróleo, face ao maior padrão de qualidade deles exigido.

O despertar da consciência ecológica teve grandes reflexos na atividade petrolífera e, similarmente ao primeiro o segundo choques, atuou fortemente no preço e no consumo. Por isso, deve ser considerado o terceiro choque do petróleo, anulando praticamente os dois anteriores. Ele direcionará as atividades petrolíferas no futuro próximo, até que surja outro fato de grande repercussão na humanidade, redirecionando estas atividades.

Nas seções seguintes ver-se-á como os choques do petróleo influenciaram os esquemas de refino.

3.4.3 PRINCIPAIS PRODUTOS E TECNOLOGIA

Neste terceiro período não há propriamente o aparecimento de um novo tipo de unidade de refino. Na realidade, aperfeiçoar-se a tecnologia anteriormente desenvolvida.

Os produtos também serão os mesmos, apenas com uma maior exigência de qualidade. A novidade serão os produtos provenientes do petróleo e de outra fonte de energia.

Em termos de mercado, há dois pontos básicos a serem

3.47 No capítulo quatro são detalhados os novos requisitos de qualidade do óleo diesel e da gasolina.

3.48 São mencionada mais detalhadamente no próximo capítulo. Os produtos oxigenados ajudam a reduzir e podem auxiliar no controle da emissão de monóxido de carbono.

comentados. O primeiro é a mudança porcentual do consumo dos derivados clássicos, isto é gasolina, diesel e óleo combustível. O outro é o surgimento de produtos novos, como os produtos oxigenados, e a transformação de um tipo de derivado em outro.

A gasolina, conforme como já comentado, foi o derivado que mais sentiu o impacto da elevação de preços do primeiro e segundo choques do petróleo. É também o produto mais afetado pelo terceiro choque. Assim, a demanda de gasolina caiu bruscamente a partir de 1980. Mesmo com a queda do preço do petróleo, ocorrida em 1986, o consumo de gasolina não retornou ao patamar de 1978. A tabela 3.18 mostra este fato para o mercado dos EUA.

Além da redução do consumo de gasolina, há ainda o surgimento de uma série de produtos chamados "oxigenados", que são misturados à gasolina com o objetivo de aumentar a octanagem e diminuir a emissão de monóxido de carbono. O produto mais característico desta classe é o MTBE^{3.49}, obtido a partir do metanol proveniente do gás natural, e butenos separados do GLP. Assim, trata-se de um produto derivado do petróleo e do gás natural. Esta é uma característica marcante da terceira fase do refino: o interrelacionamento de produtos derivados do petróleo com outros produtos. Um exemplo disto é a gasolina brasileira, que, a partir de 1980, passou a ser comercializada com 22% de álcool anidro.

Ainda com a gasolina, surgem outros produtos. Por exemplo, até os anos setenta adicionava-se à gasolina correntes de composição semelhante ao GLP^{3.50}. Considerava-se vantajosa esta operação, pois ela permitia a elevação da octanagem da gasolina. No entanto, a partir dos anos oitenta, critica-se e limita-se esta operação tendo em vista a formação de ozônio. Assim as frações de butanos, para serem aproveitadas como gasolina, ou são transformadas em butenos e daí para MTBE, ou passam por unidades de alcoilação^{3.51}.

Em relação ao óleo diesel apareceram duas preocupações básicas. A primeira é o teor de enxofre. Hoje há uma tendência mundial de se limitar o teor de enxofre a 0,05%, em peso. Poucos petróleos no mundo podem produzir, apenas por destilação direta, óleo diesel com esta especificação. Assim, toda refinaria passa a necessitar de unidades do tipo hidrotratamento ou hidrodessulfurização de médios.

Um outro aspecto ligado ao óleo diesel é a necessidade de produzi-lo em grande quantidade em relação ao petróleo processado. Assim, muitas correntes intermediárias passam a ser aproveitadas para a produção do óleo diesel. Dentro desta linha,

3.49 No capítulo quatro é apresentada uma série de informações sobre o produto.

3.50 GLP é o gás liquefeito de petróleo, composto principalmente por butanos e propanos. A fração adicionada à gasolina é composta principalmente por butanos.

3.51 As unidades de alcoilação produzem gasolina de alta octanagem. No Brasil, muitas vezes são chamadas de plantas de gasolina de aviação. No capítulo dois há uma descrição desta tipo de unidade.

destacam-se as unidades de hidrocrackeamento brando - MMC e hidrocrackeamento severo - HCC, que, tendo como carga o resíduo atmosférico ou o resíduo de vácuo (só os HCC), obtêm produtos leves e, em maior porcentagem, o óleo diesel. Até o início dos anos 80 estes tipos de unidades eram impensáveis, face à preocupação em se obter gasolina com custos muito menores.

Quanto ao óleo combustível, ressalta-se o atual baixo consumo, como indicado na tabela 3.20, principalmente dos óleos com alto teor de enxofre, que tendem a ter um mercado cada vez mais reduzido. Assim, na maioria das refinarias, foi necessário se introduzir algum tipo de unidade para se reduzir a produção do óleo combustível.

Esta redução é necessária para tornar o refino lucrativo. O óleo combustível é muito mais barato que os outros derivados e, pela própria sistemática de preços atualmente adotada, uma refinaria simples só obteria do refino de um determinado petróleo remuneração para o petróleo e para a energia utilizada. Não obteria recursos para a amortização do capital e nem para a remuneração do pessoal.

A seguir, comenta-se as principais unidades de refino que passaram a ser utilizadas recentemente.

3.4.3.1 UNIDADES QUE REDUZEM A FORMAÇÃO DO ÓLEO COMBUSTÍVEL.

A mais difundida atualmente é a unidade de coqueamento retardado, ou simplesmente unidade de coque. Trata-se de um processo térmico já conhecido desde 1930, no apogeu dos processos térmicos. A unidade tem como carga o resíduo de vácuo e como produtos gás, GLP, naftas, gasóleo leve e gasóleo pesado e o coque de petróleo. Tanto a nafta, quanto o gasóleo leve para serem aproveitados como gasolina e diesel, respectivamente, necessitam de algum tipo de tratamento^{3.52}.

A unidade é utilizada, principalmente, para a redução da produção de óleo combustível, que pode chegar a zero^{3.53}, e, eventualmente, objetiva também a produção de alguns tipos especiais de coque.

Outra unidade importante é a desasfaltação a propano, originalmente desenvolvida para a produção de alguns tipos de lubrificantes básicos. Com a perda da margem de refino, este tipo de unidade parecia que se tornaria muito difundido, por aumentar bastante a produção de gasolina e diminuir a de óleo combustível, aumentando a margem de refino. Isto no entanto, não tem ocorrido. A seguir, indica-se na tabela 3.24, como a introdução de uma

3.52 Face à sua instabilidade, estes produtos costumam ser carga de outra unidade, como o hidrotratamento, ou mesmo o craqueamento catalítico.

3.53 É a única unidade que permite zerar a produção de óleo combustível, aumentando a produção de derivados médios. Um exemplo disto é a Refinaria Presidente Bernardes - Cubatão SP, que tem duas unidades de coque não produzindo óleo combustível.

unidade de desasfaltação em uma refinaria do tipo dois, apresentada na seção ítem anterior, altera o rendimento dos produtos.

TABELA 3.24
ALTERAÇÃO NO RENDIMENTO DE UMA REFINARIA DO TIPO 2 COM A
INTRODUÇÃO DE UMA UNIDADE DE DESASFALTAÇÃO

PRODUTO:	% EM RELAÇÃO AO PETRÓLEO
ÓLEO COMBUSTÍVEL	-13,00
GASOLINA	+ 6,00
GLP	+ 3,00
MÉDIOS (DIESEL)	+ 4,00

No Brasil existem duas unidades deste tipo ligadas à produção de lubrificantes, na refinaria Duque de Caxias, no Rio de Janeiro, e na refinaria Landulfo Alves, em Maratão, Bahia. Há outras duas unidades ligadas à produção de combustíveis, na refinaria Henrique Laje, em São José dos Campos, SP e na refinaria do Paraná. Essas duas últimas foram construídas com o objetivo de otimizar o refino. Outras provavelmente não serão mais construídas, ao menos até o médio prazo, face ao pequeno mercado corrente da gasolina.

Uma outra unidade desta classe é a de viscorredução análogamente à unidade de coqueamento retardado, trata-se também de um processo térmico. Praticamente, esta unidade é a sucedânea da destilação destrutiva da primeira fase do refino.

A viscorredução foi muito usada, principalmente, na Europa, com o objetivo de produzir mais óleo diesel, em detrimento do óleo combustível. No atual estágio tecnológico, a introdução de uma unidade de viscorredução em uma refinaria simples, do tipo 1, anteriormente apresentada, permite uma produção maior de diesel da ordem de 4 a 6 %. Mas, os ajustes de produção obtidos com este tipo de unidade são muito brandos em relação à queda na produção do óleo combustível, e muito inferiores aos obtidos com as unidades de desasfaltação e coqueamento retardado. Provavelmente, este tipo de unidade tenderá a desaparecer.

No Brasil, nos anos cinquenta, operava na refinaria de Cubatão uma unidade deste tipo, que depois foi transformada em unidade de destilação. É interessante notar que um programa do tipo queima de óleos ultra viscosos tem reflexos semelhantes ao de unidades de viscorredução no perfil de rendimentos.

3.4.3.2 AS UNIDADES DE HIDROREFINO

Estas são as unidades mais representativas da terceira fase do refino, porque objetivam principalmente a melhoria da qualidade dos produtos e podem aumentar a produção dos derivados médios.

Os processos de refino que envolvem o uso de hidrogênio

surgiram inicialmente como unidades que reduzem o teor de enxofre. Basicamente são unidades formadas por uma bateria de pré aquecimento, uma seção de conversão, composta por um ou mais reatores que tem um leito de catalisador e onde é injetado hidrogênio sob pressão, uma seção final de separação. De acordo com o tipo de catalisador, quantidade e pressão do hidrogênio e temperatura de reação, maior será a severidade do processo. Com uma severidade baixa, apenas se retira o enxofre. Tem-se, então, uma unidade de hidrodessulfurização - HDS; neste caso, a pressão de operação é pequena, assim como o consumo de hidrogênio, e, eventualmente, nem é necessária uma seção de separação. A carga típica desta unidade é o querosene, para especificá-lo como combustível de aviação.

Se a severidade for aumentada, chega-se a um hidrotratamento - HDT, que, além da retirada do enxofre, retirará também compostos nitrogenados e promoverá uma estabilização do produto. A carga típica é o óleo diesel e suas correntes intermediárias^{3.54}.

Aumentando-se ainda mais a severidade chega-se a uma unidade de hidrocrackeamento brando - MHC, cuja carga típica é o resíduo atmosférico, ou RAT. Essa unidade pode ser usada para permitir que todo o RAT seja usado como carga da unidade de craqueamento catalítico, zerando a produção de óleo combustível. Além disto, o RAT, no MHC, produz uma pequena percentagem de produtos leves, cerca de 10% de naftas e óleo diesel. A seção de separação é incluída.

Chega-se, finalmente, ao tipo de unidade mais caro, o hidrocrackeamento severo - HCC. Essa unidade tem severidade suficiente para converter 60 a 70% da carga, que pode ser o RAT ou o próprio resíduo de vácuo - RV. Mas neste caso, o catalisador tem que ser apropriado para suportar os metais contaminantes. Os produtos desta unidade são de boa qualidade, podendo produzir até 50% de óleo diesel. O resíduo, ou produto de fundo, é de tão boa qualidade que pode ser uma excelente carga para o craqueamento catalítico ou para a produção de hidrogênio.

Os processos de hidrorrefino são excelentes para os requisitos deste terceiro período de refino. Porém, os altos custos de investimento e operação limitam o uso deste tipo de unidade. O investimento é alto por envolver reatores que operam com até 150 kgf/cm² e mais de 400°C. Além disto, o próprio sistema de circulação de gases é caro. Outro fator que aumenta o investimento e o custo de operação é o consumo de hidrogênio. Assim, cada unidade dessas têm associada uma unidade produtora de hidrogênio, que têm, por sua vez, como matéria prima o gás de refinaria, ou gás natural, ou nafta, ou outros produtos intermediários. Apresenta-se, na tabela 3.25, duas estimativas de custo de processamento, uma para uma unidade de hidrotratamento de óleo diesel e uma para o hidrocrackeamento de resíduo

3.54 Nessa refinaria existem correntes que, quando tratadas nesse tipo de unidade, podem ser especificadas como óleo diesel. É o caso de uma corrente proveniente do craqueamento catalítico, chamada de óleo leve de reciclo. É o caso, também, da corrente chamada gás-óleo leve de coque, proveniente da unidade de coqueamento retardado.

atmosférico .

TABELA 3.25
CUSTOS DO HIDROREFINO, EM US\$/BARRIL

UNIDADE TÍPICA	HIDROTRATAMENTO	HIDROCRACQUEAMENTO
CARGA	DIESEL	RAT
OBJETIVO	ESTABILIDADE DESULFURIZAÇÃO	PRODUZIR DIESEL DE QUALIDADE
CAPACIDADE	5000 M ³ /D	5000 M ³ T/D
CONSUMO DE HIDROGÊNIO	8,2 NM ³ /BARRIL	50
NM ³ /BARRIL		
NR DE OPERADORES/TURNO	5	6
INVESTIMENTO/M ³ /D	18500 US\$	38500 US\$
CUSTOS OPERACIONAIS	US\$/BARRIL	US\$/BARRIL
INV.+MANUTENÇÃO + SEGURO	1,84	3,28
ENERGIA (COMB.+ ELETRICIDADE)	0,30	0,36
MÃO DE OBRA - 5 TURNOS	0,10	0,12
HIDROGÊNIO	0,74	4,43
TOTAL	2,78	8,19

A tabela 3.25 foi construída com base em informações apresentadas no capítulo dois, assumindo-se algumas hipóteses para o cálculo. Importante notar o alto custo do hidrotreatamento do óleo diesel, apenas para adequar o produto aos novos requisitos de qualidade. Assim, pode-se entender porque, mesmo o petróleo permanecendo com um preço baixo, há uma tendência de aumento de preço dos derivados.

Outro ponto a considerar, é o alto custo do ajuste do refino ao perfil do mercado consumidor. Assim, a conversão de óleos pesados em óleo diesel, é uma rota cara. É claro que existem fatores que podem atenuar bastante este custo. Por exemplo, na estimativa apresentada na tabela 3.25, se no lugar de nafta fosse utilizado gás, o custo do hidrogênio seria bem menor. Inclusive, o custo do gás varia muito; por exemplo, uma refinaria com disponibilidade de gás, podendo substituí-lo por resíduo de vácuo, pode usar o gás para a produção de hidrogênio à um custo bastante baixo. Uma outra refinaria que não tenha disponibilidade de gás, provavelmente não poderia construir uma unidade que consumisse muito hidrogênio, por que dificilmente haveria retorno para o investimento.

3.4.3 UNIDADES QUE ELEVAM A QUALIDADE DOS PRODUTOS

Atualmente, começam a proliferar pelas refinarias certos tipos de unidades de refino, que, tem como principal

característica produzir um tipo específico de produto. Essas unidades são mais baratas que o hidrorefino e não alteram significativamente o perfil de rendimento de uma refinaria, como as unidades redutoras de óleo combustível.

Talvez a unidade mais representativa deste grupo seja a unidade produtora de MTBE, ou seja o ether metil-t-butil, produto oxigenado utilizado como aditivo na gasolina, para aumento de octanagem, em substituição ao chumbo tetraetila. Esta unidade tem como carga o isobuteno, produto separado da corrente de GLP, e o metanol produzido por qualquer meio^{3.55}. Assim, esta unidade utiliza como matéria-prima um composto derivado do petróleo, e um outro, derivado de outra fonte de energia.

Outra unidade bem característica deste período é a de gasolina de alta octanagem, ou planta de alquilação^{3.56}. Ela produz uma corrente rica em isoctano, ou seja, uma gasolina de alta octanagem. A carga da unidade por isobutanos provenientes das correntes de GLP, com butenos e propenos também provenientes da corrente de GLP ou uma corrente residual de petroquímica. Convém notar que, antigamente, frações do GLP eram adicionadas diretamente à gasolina, prática que vai sendo abandonada devido à restrições ambientais. Hoje as correntes do GLP retornam à gasolina indiretamente, contribuindo para a melhoria de qualidade mas elevando o custo final dos derivados.

Uma outra unidade característica deste grupo é a unidade de isomerização, isto é a unidade que transforma correntes ricas em compostos lineares como butanos, pentanos e hexanos em compostos ramificados, como o isobutano e o isopentano. Seu objetivo principal é aumentar a octanagem dos pentanos e hexanos, para poderem ser usados como gasolina de boa qualidade. Eventualmente, pode-se ter como carga correntes ricas em butanos, para se obter o isobutano, para posterior utilização em unidades do tipo alquilação ou na produção do MTBE. Observar que este tipo de unidade não altera o perfil de rendimentos, mas apenas a qualidade dos produtos.

3.4.4 AS REFINARIAS TÍPICAS DO TERCEIRO PERÍODO

Face a tantas mudanças e possíveis esquemas de refino, optou-se, por mostrar uma refinaria bem adaptada a este terceiro período, porém sendo uma evolução natural das refinarias típicas do segundo. E isto ocorreu de fato, pode-se dizer que no terceiro período a capacidade manteve-se praticamente constante, ou seja, a capacidade de destilação não aumentou no mundo. Mas, a

3.55 O metanol pode ser sintetizado a partir do monóxido de carbono e do hidrogênio. Qualquer fonte de carbono, quando aquecida na presença de água, pode produzir os elementos necessários à síntese do metanol. Assim, este produto pode ser obtido do carvão vegetal, do carvão mineral ou do gás natural. Pode também ser obtido por fermentação da madeira. Está se difundindo a produção de metanol a partir do gás natural.

3.56 O nome provém do tipo de reação, chamada de alquilação. No Brasil, estas unidades são conhecidas como plantas de gasolina de aviação.

capacidade de conversão mudou, adaptando-se ao perfil do mercado. As refinarias que não alteraram seu perfil de rendimentos, produzindo muito óleo combustível como as antigas do tipo 1, não têm margem de refino para continuar no mercado.

Em resumo pode-se pensar nas atuais refinarias como sendo adaptações das refinarias do período anterior, mais integradas ao mercado e, portanto, com características próprias. Por exemplo, uma refinaria cuja região é servida por um gasoduto, possivelmente evoluiu no sentido de zerar a produção de óleo combustível, tendo até como opção utilizar o gás para gerar hidrogênio. Uma outra refinaria, cujo grupo econômico esteja ligado a uma petroquímica, provavelmente produz MTBE e propeno das correntes formadoras do GLP.

A seguir, apresenta-se o fluxograma de duas refinarias, que são uma evolução das refinarias típicas do segundo período.

Nos esquemas de refino sugeridos, apresentam-se balanços de produção, da parte mais convencional das refinarias, não se incluindo estimativas, por exemplo, da produção de MTBE, por se tratar de algo relativamente novo e que foge um pouco do escopo da proposta deste capítulo.

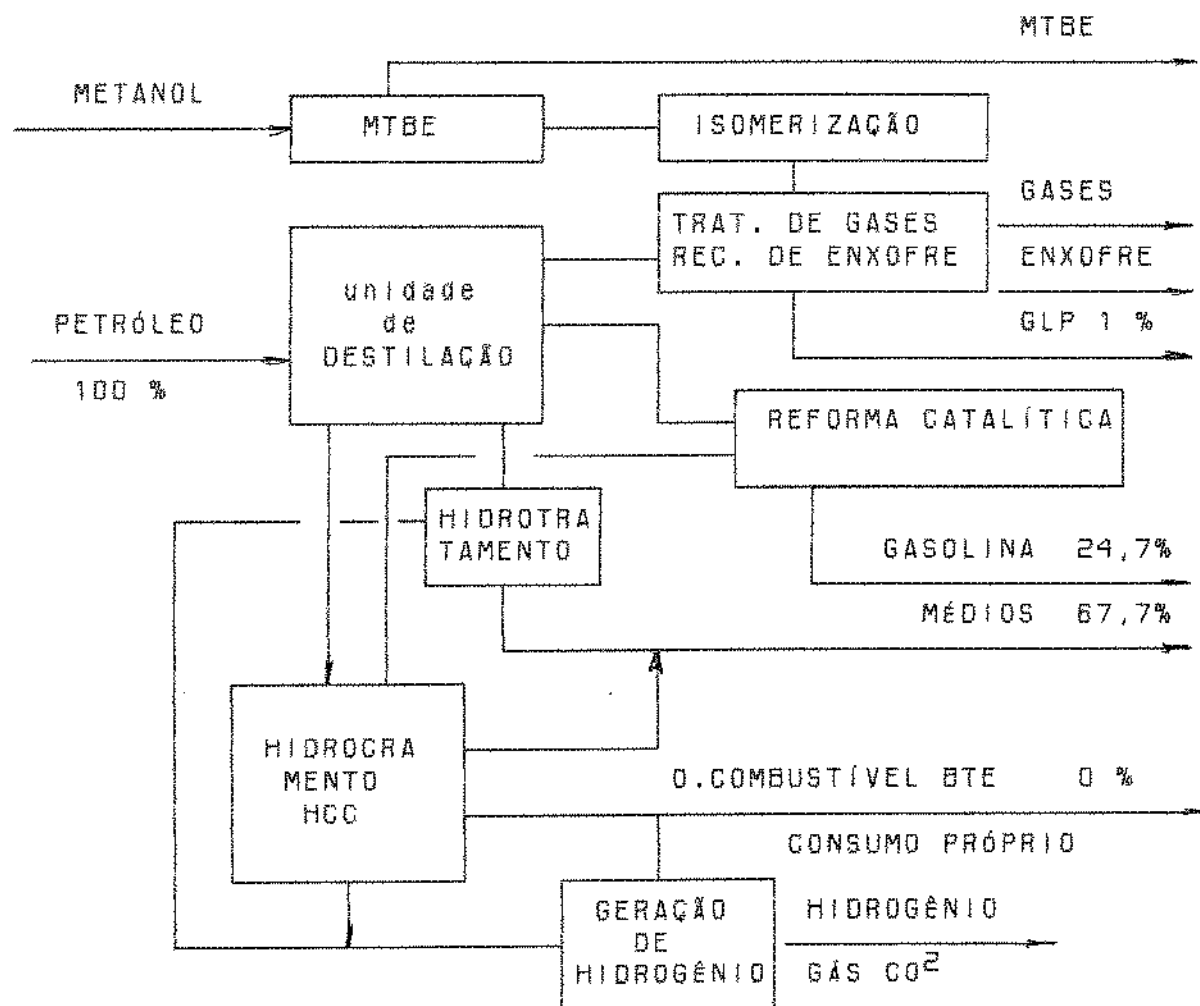


Figura 3.4 - Esquema de refino tipo 3, evolução da refinaria típica nº 1

Na figura 3.4 se mostra um esquema de refino moderno, adaptado aos atuais requisitos de mercado, isto é: perfil adequado de rendimentos e qualidade dos produtos. Este esquema de refino seria facilmente adaptável à uma refinaria do tipo 1, que era bastante difundida na Europa e em outras partes do mundo.

A seguir na figura 3.5 se apresenta um esquema de refino possível de adaptação em uma refinaria do tipo 2, mais utilizado nos EUA e no Brasil.

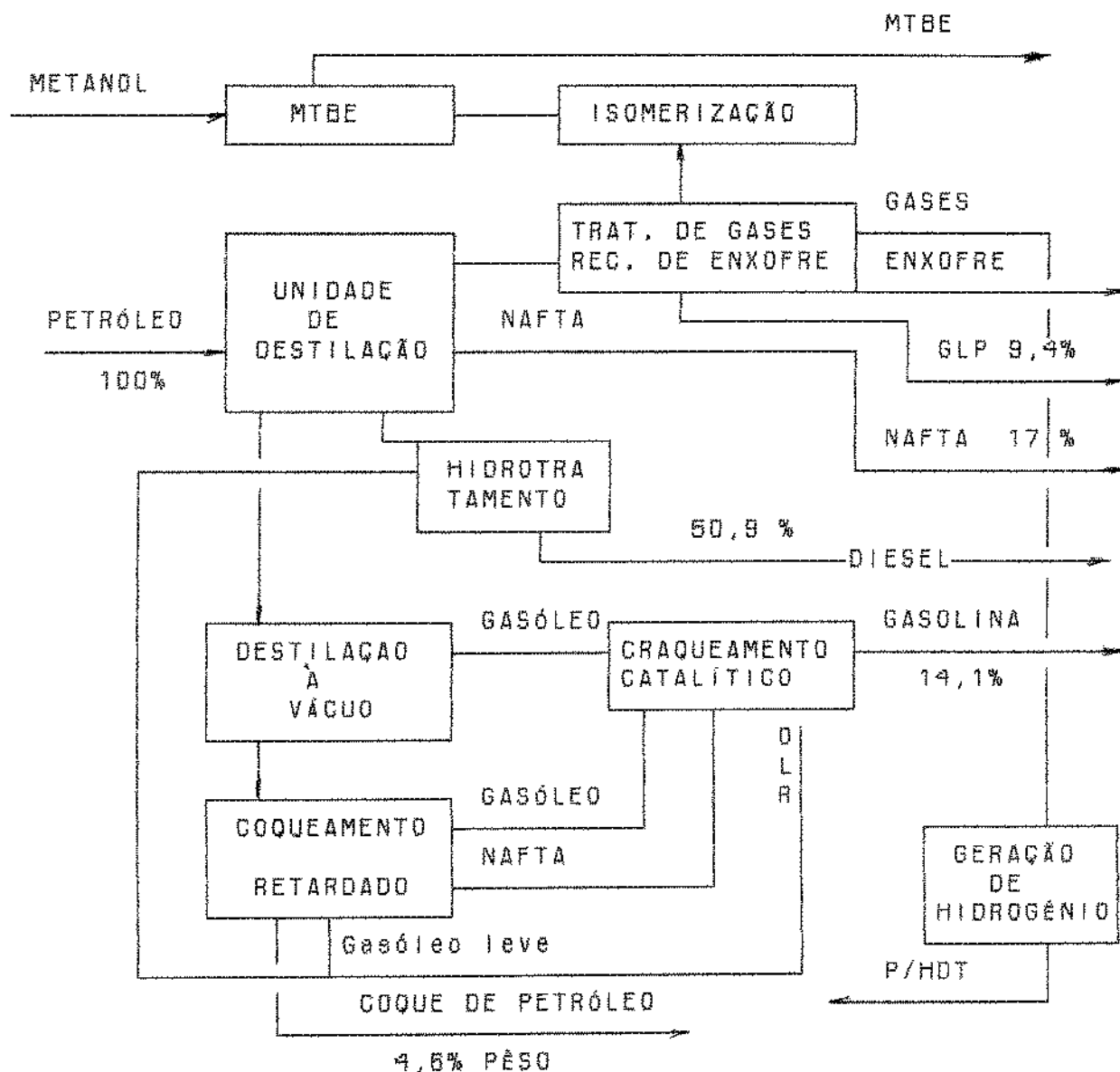


Figura 3.5 - Esquema de refino nº 4, evolução da refinaria típica nº 2

A seguir apresenta-se a tabela 3.26, com uma série de dados comparativos sobre os tipos de refinarias apresentadas. Fica bastante claro o aumento do custo de processamento nos esquemas de refino mais modernos.

TABELA 3.26
COMPARAÇÃO DOS DIFERENTES ESQUEMAS DE REFINO

ESQUEMA DE REFINO	1	2	3	4
CAPACIDADE DE REFINO EM 10 ³ BPD				
DESTILAÇÃO ATMOSFÉRICA	126	126	126	126
DESTILAÇÃO A VÁCUO	-	50	-	50
REFORMA CATALÍTICA	21,5	-	21,5	-
CRAQUEAMENTO CATALÍTICO	-	25	-	35
COQUEAMENTO RETARDADO	-	-	-	30
HIDROTRATAMENTO DE ÓLEO DIESEL	-	-	25	35
HIDROCRAQUEAMENTO DE RAT	-	-	50	-
GERAÇÃO DE HIDROGÊNIO, EM T/D	-	-	230	33,8
INVESTIMENTOS, EM MILHÕES DE US\$				
DESTILAÇÃO ATMOSFÉRICA	100,1	100,1	100,1	100,1
DESTILAÇÃO A VÁCUO	-	66,5	-	66,5
REFORMA CATALÍTICA	66,1	-	66,1	-
CRAQUEAMENTO CATALÍTICO	-	71,5	-	110,2
COQUEAMENTO RETARDADO	-	-	-	112,2
HIDROTRATAMENTO DE DIESEL	-	-	100,0	130,0
HIDROCRAQUEAMENTO DE RAT	-	-	600,0	-
GERAÇÃO DE HIDROGÊNIO	-	-	100,3	27,0
TOTAL DO PROCESSO	166,2	238,1	866,4	535,5
CUSTO EXTRA EM AUTOMAÇÃO: 10%	16,5	23,8	86,6	53,5
UTILIDADES	48,8	71,4	144,8	134,0
TRANS. E ESTOCAGEM (OFF-SITES)	48,0	71,4	144,8	134,0
TERRENO E EDIFICAÇÕES	30,0	36,0	45,0	60,0
TOTAL	312,3	440,7	1397,8	917,0
PESSOAL - TURNO :				
DESTILAÇÃO ATMOSFÉRICA	5	5	5	5
DESTILAÇÃO A VÁCUO	-	3	-	3
REFORMA CATALÍTICA	4	-	4	-
CRAQUEAMENTO CATALÍTICO	-	7	-	7
COQUEAMENTO RETARDADO	-	-	-	5
HIDROTRATAMENTO DE DIESEL	-	-	5	5
HIDROCRAQUEAMENTO DE RAT	-	-	7	-
GERAÇÃO DE HIDROGÊNIO	-	-	3	2
UTILIDADES E SEGURANÇA	10	14	15	18
TRANS. ESTOCAGEM E LAB.	0	10	12	14
SUPERVISÃO	1	2	3	4
TOTAL POR GRUPO DE TURNO	26	41	55	63
TOTAL 5 GRUPOS DE TURNO	130	205	275	315
PESSOAL - HORÁRIO NORMAL :				
LABORATÓRIO	10	15	15	20
MANUTENÇÃO	15	30	35	40
ADMINISTRAÇÃO E ENGENHARIA	40	60	70	80
TOTAL - PESSOAL HORÁRIO NORMAL	60	95	110	130
TOTAL DO PESSOAL	195	310	395	455

TABELA 3.26 (cont.)

ESQUEMA DE REFINO	1	2	3	4
CUSTOS FIXOS, EM MILHÕES US\$/ANO				
CAPITAL INVESTIDO : 10%	31,2	44,0	139,8	91,7
SEGUROS: 1%	3,1	4,4	14,0	9,2
MANUTENÇÃO: 4% DAS INSTALAÇÕES INDUSTRIAIS	11,53	16,2	54,1	34,3
PESSOAL: US\$ 50000 /PESSOA	9,8	15,5	19,8	22,8
CATALISADOR	0,7	2,2	2,4	3,1
TOTAL CUSTOS FIXOS	56,3	82,3	230,1	161,1
CUSTO DE PROCESSAMENTO, EM US\$ - BARRIL	1,3	1,9	5,3	3,7
PERFIL DE RENDIMENTOS, DEDUZINDO O CONSUMO PRÓPRIO				
GLP - PERCENTAGEM VOLUMÉTRICA	1,0	6,6	1,3	9,4
GASOLINA " "	17	28,6	24,7	31,1
ÓLEO DIESEL " "	38	38,8	67,7	50,9
O.COMBUSTÍVEL	42,8	25,0	-	-
COQUE VERDE " PÊSO	-	-	-	4,6
ENXOFRE " PÊSO	0,0	0,3	1,5	0,8
PREÇOS, EM US\$/BARRIL, EM US\$ DE 1986				
PETRÓLEO ÁRABE LEVE	16,58	16,58	16,58	16,58
GLP - 80% DO PREÇO DA GASOLINA	0,16	1,04	0,20	1,48
GASOLINA (19,63 US\$/BARRIL)	3,34	5,61	4,85	6,10
DIESEL (18,91 ")	7,19	7,34	12,80	9,63
O.COMBUSTÍVEL (11,44 ")	4,90	2,86	-	-
COQUE VERDE - 80% O.COMB.	-	-	-	0,42
ENXOFRE PREÇO DO O.COMBUSTÍVEL	-	0,03	0,17	0,09
TOTAL US\$/BARRIL	15,58	16,88	18,02	17,96
MARGEM DE REFINO TÉCNICA - MRT	-0,98	0,30	1,44	1,28
M.DE REFINO GERENCIAL - MRT	-2,29	-1,6	-3,86	2,42

Para a elaboração da tabela 3.26 usou-se os dados apresentados no capítulo 2 (Hydrocarbon Processing - 1988) e uma série de estimativas próprias.

Deve-se no entanto analisar a tabela com um certo cuidado. Adotou-se como critério um fator de 2,2 para a hipótese da refinaria ser construída no Brasil, já que os valores de investimento foram obtidos nos EUA. Desta forma possivelmente alguns valores estão superestimados e outros subestimados.

Usou-se também um aumento de investimento de 10% sugerindo-se um grande investimento em automação. Tomou-se também como hipótese, que toda a manutenção é contratada, e também todo serviço de engenharia. Com isto o número de

empregados é extremamente baixo, mesmo se comparado aos EUA ou Europa.

Para se comparar os diferentes esquemas de refino usou-se o mesmo tipo de petróleo, mas isto nunca aconteceria, porque refinis muito diferentes, usariam petróleos diferentes, mais apropriados para o tipo de unidade de cada refinaria. Além disto o petróleo utilizado possivelmente não otimiza nenhum dos esquemas de refino apresentado. Nas refinarias existentes é uma preocupação constante a escolha do tipo de petróleo mais adequado para cada situação.

Uma refinaria nova possivelmente teria um custo muito próximo ao dos estimados¹, por isso atualmente é muito raro a construção de uma refinaria, sendo mais comum as reformas e ou adaptações em refinarias já existente.

3.4.5 PERSPECTIVAS FUTURAS

O refino de petróleo se iniciou para produzir querosene de iluminação, com a evolução dos sistemas de iluminação e advento do carro, passou a produzir principalmente combustíveis automotivos, ou seja gasolina. Com a preocupação ambiental o principal produto passou a ser o diesel, seja, um combustível de uso mais coletivo.

Outro aspecto interessante foi a evolução do consumo de petróleo, inicialmente competindo apenas com os combustíveis iluminantes de origem animal e vegetal, competiu depois com o carvão e passou a ser a principal fonte de energia do mundo.

Mas o consumo começou a ficar estável, e outras fontes de energia estão tendo um crescimento de consumo muito maior que o petróleo, notadamente o gás natural.

Assim hoje o petróleo vai tendo alguns fortes competidores, o gás natural que compete principalmente com o óleo combustível e começa a substituir o diesel. Os produtos oxigenados que competem com a gasolina.

Este panorama devera continuar por um bom periodo, até que haja uma grande mudança na organização da sociedade, isto podera ocorrer pela diminuição da população mundial e uma reorganização das sociedades, possivelmente em um modelo auto sustentado energeticamente. Outra mudança possível seria o surgimento de uma nova fonte de energia, como era esperado da energia nuclear.

Neste novo contexto, a participação do petróleo como fonte de energia sera muito menor. Certamente havera um outro produto básico desta outra fase, ou quarta fase do refino, muitos autores consideram que seriam as materias primas petroquímicas, mas ao nosso ver dependera essencialmente da forma como se reorganizara a sociedade.

1. Os estudos feitos para a construção de uma refinaria no nordeste pela PETROBRAS, indicavam valores de investimento superiores a um bilhão de dolares.

BIBLIOGRAFIA

AALUND L. New German Plant Has Strategic Site, Oil & Gas Journal 9 Nov. 1976 p. 47-52.

ALDEMAN, M.A. , The World Petroleum Market , - 1972
The Johns Hopkins University Press - Baltimore EUA.

AVIDAN A.A. et alii , Innovative Improvements Highlight FCCs Past and Future, Oil & Gas Journal Jan 8 , 1990 p 33-58

Arthur Andersen & CO , World Oil Trends , Cambridge Energy Research Associates - 1988/1989 - Cambridge Massachusetts - EUA.

BECK R.J. Improving Oil Prices Slow Changes in U.S. Demand. Production = Midyear Forecast/Review = OGJ Special, Oil & Gas Journal July 27, 1987

BECK R.J. Second Half Economic Gains to Lift Oil Prices = Midyear Forecast/Review = OGJ Special, Oil & Gas Journal July 29, 1987

BIRAUD, A. ; TOUR X.B. Géopolitique Du Pétrole Et Gaz , 1987 - Editions Technip - Paris

Hydrocarbon Processing, 1988 Refining Handbook , Hydrocarbon Processing , September 1988 p.81-91.

JACQUARD, M.P. Influence Du Progrès Technologique Sur L'offre de Pétrole, Pétrole et Techniques n° 357- juin-juillet 1990 p.9-17

MARINHO JR., I.P. Petróleo Política e Poder = Um Novo Choque do Petróleo 2 = Rio de Janeiro 1988 Ed. José Olympio .

NELSON, W.L., Petroleum Refinery Engineering, 1958 International Student Edition - McGraw Hill Book Company.

OIL & GAS JOURNAL , Mixed Oil Market Signals Spur Divergent Analyses - Oct. 3, 1988 p.31-32.

TUGENDHAT C., Oil The Biggest Business 1968 , Eyre & Spottiswoode - London.

VIELVOYE, R. Refinery Closure Rate To Slow In Europe. But EC Sizes Up Others Woes, Oil & Gas Journal, 17 Oct, 1988.

VIELVOYE, R. OPECs Newly Restored Discipline. Market Due Stiff Tests Early In 1989, Oil & Gas Journal, 18 Jan, 1989.

VIELVOYE, R. ; WILLIAMS, B. OPEC Members Push Campaigns To Diversify Their Economies , Oil & Gas Journal - Jan 18, 1988 .

WILLIAMSON H.F. ; DAUM A. R., The American Petroleum Industry = The Age of Illumination 1859-1992 , 1959 Northwestern University Press EUA.

WILLIAMSON H.F. et alii, The American Petroleum Industry - The
age of energy 1899-1959 . 1958 Northwestern University Press
EUA.

CAPÍTULO IV

TENDÊNCIAS ATUAIS DO REFINO

Tradicionalmente, desde o aparecimento comercial do petróleo, as mudanças no mercado consumidor determinaram as direções seguidas pelo refino de petróleo.

Na última década deste século, as mudanças serão impulsionadas principalmente pela preocupação ambiental. Ou seja, se farão grandes investimentos, em termos de recursos financeiros e tempo de pesquisas, no sentido de adequar os derivados de petróleo aos requisitos ambientais cada vez mais rigorosos.

Muito provavelmente, o custo destes investimentos, transferido aos consumidores, ao lado da maior conscientização ambiental, serão os grandes fatores de estabilização ou diminuição do consumo dos diversos derivados.

É muito difícil se tentar compreender as atuais tendências do mercado dos derivados de petróleo, sem entender as atuais preocupações ambientais.

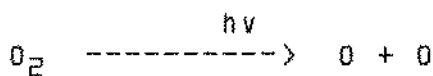
4.1 AS PRINCIPAIS PREOCUPAÇÕES AMBIENTAIS

4.1.1 O EFEITO ESTUFA

A atmosfera terrestre é composta por 79% de nitrogênio, N_2 , e 21% de oxigênio, O_2 , em volume, e traços de uma série de outras substâncias, que têm uma importância muito maior que suas concentrações sugerem.

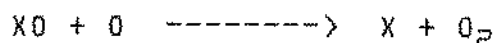
Uma dessas substâncias é o ozônio, O_3 , que na estratosfera^{4.1} absorve radiações ultra violeta. Estas, em grandes concentrações, podem causar câncer de pele e danos a materiais e à vegetação (CHURCH e SHEPHARD, 1990).

As reações de equilíbrio do ozônio são as seguintes:



onde: $h\nu$ representa a radiação ultra violeta, e
M é uma molécula qualquer que possa absorver o calor gerado na reação.

4.1 A atmosfera terrestre tem uma primeira camada, com uma extensão de 10 km, que é chamada de troposfera, e uma segunda camada de 40 km de extensão, chamada de estratosfera. Há, ainda, uma terceira camada, de 12 km de extensão, chamada de mesosfera. O ozônio é favorável à vida, na estratosfera. Já na troposfera é prejudicial.



onde: X representa genericamente os compostos OH, NO, Cl ou Br.

Atualmente considera-se que o equilíbrio do ozônio na estratosfera é muito afetado pelos compostos cloro-fluor-carbono^{4.2}. As altas concentrações desses gases seriam responsáveis pelos "buracos de ozônio"^{4.3}. É interessante observar que, teoricamente, um mesmo átomo de cloro pode ser responsável pela destruição de diversas moléculas de ozônio.

Assim, o ozônio nas partes altas da estratosfera funciona como um filtro das radiações ultra violetas, que, caso não houvesse este filtro, atingiriam a crosta terrestre, elevando a temperatura ambiente.

Há uma série de outros gases que são considerados causadores do efeito estufa. Os principais são os compostos cloro-fluor-carbono, os halogênios, vapor de água, o gás metano e o dióxido de carbono. Todos estes gases quando presentes na parte mais baixa da atmosfera, ou seja, na troposfera, dificultam a re-radiação. A energia solar chega à terra na forma de radiação de diferentes comprimentos de onda; o mais frequente é o comprimento de 0,6 um. Uma parte desta energia é refletida como uma radiação de alto comprimento de onda, cerca de 13 um. Parte desta energia é absorvida pelos gases causadores do efeito estufa, contribuindo para a elevação da temperatura da terra. Ou, seja, os gases do "efeito estufa" são filtros da re-radiação.

Estima-se que na ausência total dos gases do "efeito estufa", a temperatura ambiente seria de -18° C (CHURCH e SHEPHARD, 1989).

Um aspecto bastante curioso e causador de muita confusão é o efeito da ozona na troposfera, retendo calor, ou seja, contribuindo para o efeito estufa.

Na tabela 4.1 apresenta-se a concentração dos principais gases causadores do efeito estufa.

4.2 São compostos do tipo do gás FREON (CFCl₃ e CF₂Cl), usados em aerossóis, na moldagem de plásticos, como solvente, e, principalmente como fluido refrigerante em geladeiras e instalações frigoríficas.

4.3 Em inglês, os "ozone holes", ou seja, as regiões onde há uma baixa concentração de ozona na estratosfera.

TABELA 4.1
GASES CAUSADORES DO EFEITO ESTUFA

COMPOSTO ANO	CONCENTRAÇÃO - PPMV			CONTRIBUIÇÃO AO AQUECIMENTO ^{4.4} EM % *
	1980	1980	2030	
ÓXIDO DE CARBONO - CO ₂	270	339	450	48 a 66%
METANO - CH ₄	1,15	1,65	2,34	8 a 30%
CLORO-FLUOR-CARBONO - CFC ₅₀	0	0,0006	0,0042	8 a 28%
ÓXIDO DE NITROGÊNIO - N ₂ O	0,285	0,3	0,375	2-3%
OZÔNIO (Troposfera) - O ₃	0,022	0,025	0,028	5-10%

* Excluindo-se o efeito do vapor de água.

Fonte: (CHURCH e SHEPHARD, 1990)

É importante se observar que o dióxido de carbono é o principal causador do efeito estufa, seguido do metano e dos compostos clorados, que apesar da baixa concentração na atmosfera, causam uma significativa influência.

O uso de combustíveis fósseis e o desmatamento são os principais responsáveis pelo aumento da concentração de CO₂.

A questão do efeito estufa têm sido muitas vezes atribuído exclusivamente à queima de combustíveis fósseis. Há dois aspectos pouco comentados que devem ser melhor discutidos. O primeiro é o grande uso dos combustíveis fósseis que fizeram e ainda fazem os países desenvolvidos. A esses países deve ser atribuído o ônus econômico do problema. O segundo é o fato de outros países como o Brasil, que tem um consumo relativamente baixo de combustíveis fósseis, mas tem um alto índice de emissão de gás CO₂ devido ao desmatamento. Outros países consomem muito combustíveis fósseis, mas têm baixo índice de emissão de CO₂. As tabelas 4.2, 4.3 e 4.4 mostram estes aspectos.

TABELA 4.2
EMIÇÃO DE CO₂ DE COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS - 1950 a 1987

PAÍS	EMIÇÃO DE CO ₂ 10 ⁹ ton.
ESTADOS UNIDOS	49
COMUNIDADE ECONÔMICA EUROPÉIA	24,5
UNIÃO SOVIÉTICA	24,0
CHINA	9,8
JAPÃO	6,0
CANADÁ	3,1
POLÔNIA	3,0
MÉXICO	1,8
BRASIL	1,4

Fonte: (WORLD RESOURCES, 1990 ,p.14)

4.4 Os efeitos dos poluentes são estimados por diversos critérios. Segundo a publicação "World Resources" - 1990/1991, página 14 a contribuição do CO₂ é de 50%; os cloro carbonos contribuem com 20% .

TABELA 4.3
PAÍSES DE MAIOR EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA

CLASSI- FICAÇÃO	PAÍS	CO ₂	CH ₄	CFC	TOTAL	%
1	EUA	540	130	350	1000	17,6
2	URSS	450	60	180	690	12,0
3	BRASIL	580	28	16	610	10,5
4	CHINA	260	90	32	380	6,6
5	ÍNDIA	130	98	0,7	230	3,9
6	JAPÃO	110	12	100	220	3,9
7	ALEMANHA	79	8	75	160	2,8
8	INGLATERRA	69	14	71	150	2,8
9	INDONÉSIA	110	19	9,5	140	2,4
10	FRANÇA	41	13	69	120	2,1
11	ITÁLIA	45	5,8	71	120	2,1
12	CANADÁ	48	33	36	120	2,1
13V	MÉXICO	49	20	9,1	78	1,4
19	AUSTRÁLIA	28	14	21	63	1,1
31	ARGENTINA	13	12	5,5	31	0,5
40	PERU	22	0,9	0,0	23	0,4

Notas

A unidade : 10⁶ toneladas/ano, equivalente a CO₂.
CFC : Compostos cloro-fluor-carbono.

Fonte: (WORLD RESOURCES, 1990 p.15)

TABELA 4.4
RENDA PER CAPITA E CONSUMO DE COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS

CLASSI- FICAÇÃO (1)	PAÍS	RENDA PER CAPITA	CONSUMO JOULES/ANO (2)	CONSUMO PER CAPITA GIGA JOULES
1	EUA	18529	68079	280
2	URSS	8375	54724	194
3	BRASIL	2021	3178	22
4	CHINA	294	23469	22
5	ÍNDIA	311	6462	8
6	JAPÃO	15764	13387	110
7	ALEMANHA	14399	10023	165
8	INGLATERRA	10419	8522	150
9	INDONÉSIA	444	1382	8
10	FRANÇA	12879	8064	109
11	ITÁLIA	10355	5991	105
12	CANADÁ	15160	7518	291
13	MÉXICO	1825	4130	50
19	AUSTRÁLIA	11103	3243	201
31	ARGENTINA	2994	1745	56
40	PERU	1497	343	17

Fonte: (WORLD RESOURCES, 1990)

Na tabela 4.4 fica claro que os países de mais alta renda per capita são também os países que apresentam o maior índice de consumo de energia não renovável per capita. A fim de quantificar esta afirmação ajustou-se os valores apresentados, obtendo-se a regressão estatística expressa pela equação 4.1.

$$RC = 1242 + 58,17 \cdot E \quad (4.1)$$

onde : RC é a renda per capita, em US\$/ANO; e
E é o consumo per capita de energia, em giga joule/ano,
 $R^2 = 0,86$.

Face a esta forte correlação e a outros fatos começa a surgir a idéia da "taxa de carbono", isto é, a cobrança de impostos aos consumidores de fontes de carbono, com um possível repasse de verbas a um fundo mundial.

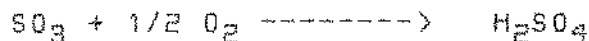
Outro aspecto de certa forma curioso é o efeito do metano. Atribui-se 20% do gás metano a atividades de produção e distribuição de gás e devido à exploração de minas de carvão. Os restantes 80% estão ligados a atividades como a criação de animais, produção intensiva de cereais e a queima de biomassas (CHURCH e SHEPHARD, 1990). Pode-se observar na tabela 4.3 como é grande o peso da emissão de metano na Índia e China, devido a este tipo de atividade.

4.1.2 GASES ÁCIDOS : SO_x E NO_x

Neste ítem pretende-se comentar os principais gases que conferem uma certa agressividade química à atmosfera. Conhecidos normalmente por provocarem a "chuva ácida".

4.1.2.1 OS ÓXIDOS DE ENXOFRE

Estes gases são resultantes da queima de compostos que contenham o enxofre, formando-se por reações do tipo:



O anidrido sulforoso, SO_2 , e o anidrido sulfúrico, SO_3 , são gases que irritam o sistema respiratório das pessoas, causando mal estar. São notórios os problemas causados por atmosferas com gases ácidos, que apresentam maiores dificuldades de dispersão nas chamadas inversões térmicas.

O SO_2 e o SO_3 , bastante ávidos por água, e na presença desta passam a ácido sulforoso e sulfúrico, respectivamente.

Quando chove, estes gases se precipitam na forma dos respectivos ácidos. São os principais causadores da chuva ácida, ao lado dos óxidos de nitrogênio e também do CO_2 .

Há muito tempo são feitas restrições às emissões destes gases. Inclusive os textos mais recentes sobre poluição do ar, fazem pouca referência aos gases de enxofre, considerando óbvios os problemas causados e a necessidade de diminuir essas emissões.

4.1.2.2 OS ÓXIDOS DE NITROGÊNIO

Se, de um lado, os efeitos nocivos, dos óxidos de enxofre para o meio ambiente são bem conhecidos e já bastante estudados dados, os óxidos de nitrogênio, são uma preocupação mais recentes.

São formados em pequenas proporções em todos os processos de combustão^{4.5}, por reações do tipo:



A formação desses produtos é favorecida pelo excesso de ar^{4.6} e pela obtenção de altas temperaturas.

Na realidade, o controle da combustão deve levar em conta os óxidos de nitrogênio, a eficiência do equipamento e a produção de monóxido de carbono, CO.

Um excesso de ar elevado diminuirá o CO e a eficiência do equipamento, mas aumentará a produção de NO_x . Ao contrário, um baixo excesso de ar diminuirá o NO_x mas aumentará o gás CO, podendo também reduzir a eficiência do processo.

O primeiro efeito identificado ao NO_x está relacionado à chuva ácida, similar aos óxidos de enxofre. O NO_x na atmosfera é oxidado a HNO_3 - ácido nítrico - que se precipitará nas chamadas "chuvas ácidas".

Os óxidos de nitrogênio, ao lado dos óxidos de enxofre e do ozônio, são os principais formadores dos "smog"^{4.7}, além de contribuírem para o efeito estufa.

Os óxidos de nitrogênio e os hidrocarbonetos, são os responsáveis pela formação de ozônio. Participam também da formação de um composto ainda pouco conhecido, o PAN - peróxido-

4.5 Os processos de combustão usuais ocorrem na presença de um combustível, normalmente composto de hidrogênio e carbono, e um caburante, normalmente o oxigênio do ar. O ar contém 21% de oxigênio e 79% de nitrogênio gasoso (N_2), assim, as altas temperaturas do processo formam os óxidos de nitrogênio, NO e NO_2 , a chamados genericamente de NO_x .

4.6 O excesso de ar é definido como a quantidade de ar além do teórico necessário.

4.7 Chama-se smog a aparente nuvem que encobre as grandes cidades em dias ensolarados. Termo usual na língua inglesa, formada pela junção de smoke, ou seja fumaça, com fog, seja, fumaça.

acetil-nitrato. Este é formado pela reação^{4.8} ácido nítrico - HNO_3 - com o peróxido de hidrogênio - H_2O_2 - e os aldeídos - H_2CO - aldeídos - CH_3CHO .

Os aldeídos presentes na atmosfera, são resultantes principalmente da combustão incompleta de hidrocarbonetos e devido ao uso de compostos oxigenados como o metanol, etanol^{4.9}, etc. São formados também por ação da luz solar.

O PAN - $\text{CH}_3\text{COONO}_2$ - é considerado o gás mais irritante formador do "smog" urbano, o gás mais prejudicial às plantas e animais. É também um agente cancerígeno. Na ausência de poluição, o PAN é um importante composto que participa do ciclo do nitrogênio, e é responsável pela difusão do nitrogênio em longas distâncias (DRUMMOND, 1989).

Há estudos, por exemplo, para a cidade de Los Angeles, California, EUA, que mostram a formação dos seguintes compostos: H_2O_2 , H_2CO_2 , NO, NO_2 , O_3 e PAN, cujas concentrações variam ao longo do dia, em decorrência dos gases de combustão emitidos pelos automóveis, e a ação da luz solar (DRUMMOND, 1989).

Em resumo, preocupa-se com os óxidos de nitrogênio principalmente por contribuírem para a chuva ácida. Esta pode ter uma série de efeitos negativos sobre o meio ambiente. Acima de tudo, pode alterar o PH das águas e do solo de uma determinada região, fazendo com que alguma espécies animais e vegetais não tenham condição de vida na nova situação.

4.1.3 OS HIDROCARBONETOS E O OZÔNIO

Os compostos de carbono e hidrogênio recebem o nome genérico de hidrocarbonetos. Muitos destes compostos são bastante voláteis, isto é, têm um baixo ponto de ebulição, e, logo, facilidade de permanecerem na fase gasosa.

Os hidrocarbonetos quando na fase gasosa são razoavelmente agressivos ao ser humano. Em determinadas concentrações, e dependendo do tempo de exposição, podem causar danos ao sistema respiratório, como, por exemplo, provocando crises de asma.

Mas a grande preocupação atual com a presença de hidrocarbonetos na atmosfera, deve-se principalmente ao equilíbrio do ozônio na troposfera.

Atualmente o ozônio pode ser considerado como o mais importante problema ambiental. Isto porque ocorre em diversas regiões do mundo e tende a se propagar como um problema potencial de diversas regiões. Por exemplo, hoje nos EUA mais de 80 milhões de pessoas vivem nas regiões de alta concentração de ozônio, ou seja, acima de 0,12 ppm (WALSH, 1989). Um estudo recente,

4.8 Na realidade trata-se de complexos equilíbrios de diversos gases da atmosfera, ressaltando-se os óxidos de nitrogênio, os hidrocarbonetos, o ozônio e os peróxidos, os aldeídos, na forma do formaldeído e do acetaldeído ($\text{H}_4\text{C}_2\text{O}$).

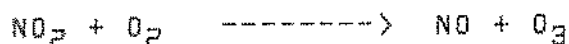
4.9 Assunto bastante pesquisado nos EUA, particularmente na California e pouco divulgado no Brasil.

realizado após a troca da gasolina com chumbo, por outro tipo de menor teor de chumbo, identificou o O_3 como o principal problema ambiental da região metropolitana da cidade do México (TORRES, 1989).

Muitas das pessoas que vivem nas regiões com grande concentração de O_3 sofrem de, irritação nos olhos, tosse e problemas respiratórios, como também uma maior frequência de crises asmáticas. Muitas pessoas acabam por ter uma diminuição das funções respiratórias.

A Agência de Proteção Ambiental americana - EPA, observou que nos EUA o pico de concentração de O_3 ocorre em agosto, durante o verão principalmente nas grandes cidades. As pessoas dessas regiões têm maior incidência de problemas respiratórios. Acredita-se que 15 a 30% das pessoas sejam muito sensíveis ao ozônio (WALSH, 1989).

A concentração do ozônio na troposfera está ligada às reações químicas catalisadas pela luz solar, tendo como principais reagentes os hidrocarbonetos e os óxidos de nitrogênio, que podem ser assim resumidos.



Hoje há uma grande preocupação com a emissão de combustíveis não queimados, principalmente devido ao seu efeito na concentração de O_3 .

Há dois tipos básicos de emissões de combustíveis. As mais importantes são as emissões pelo escapamento, ou seja, produtos não queimados. Essas emissões ocorrem normalmente na forma de carbono em partículas, monóxido de carbono, hidrocarbonetos de baixo peso molecular, como o metano e o etano, e também na forma de produto parcialmente oxidado, como é o caso dos aldeídos; os mais comuns são o formaldeído - CH_2O e o acetaldeído - C_2H_4O . Há também as emissões que ocorrem no sistema de alimentação de combustível. Uma parte do combustível é perdida devido à variação diária de temperatura^{4.10}. Há também as perdas a quente; quando os veículos param, permanecem com o motor aquecido por um certo tempo, o combustível do carburador tende a se vaporizar para a atmosfera.

Hoje especial atenção vem sendo dada aos hidrocarbonetos aromáticos como o benzeno e produtos similares.

Os benzenos, além de serem muito reativos quanto à formação de ozônio, são também considerados cancerígenos. A exposição de seres humanos a locais onde há benzeno têm sido controlada.

O teor de benzeno na gasolina tem uma dificuldade especial em ser controlado, porque os benzenos têm um alto índice de octanos e são importantes na formulação das gasolinas sem chumbo.

4.10 A temperatura ambiente varia de um máximo que ocorre entre 13 e 17:00h e um mínimo que normalmente ocorre entre 3 e 7:00h. No período de aquecimento a fase gasosa do tanque de combustível expande-se, e vapores ricos em combustível são lançados à atmosfera.

Um outro ponto de atenção é a concentração de hidrocarbonetos aromáticos no óleo diesel. Admite-se que esteja relacionado a emissão de hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (PAH). Atualmente procura-se verificar se os PAHS sejam cancerígenos.

Um outro tipo de poluente encontrado principalmente nas grandes cidades é o monóxido de carbono - CO. Aparece nos gases de combustão dos veículos, de acordo com a presença de excesso de oxigênio e também de acordo com o projeto do motor e estado de manutenção do veículo. Um estudo realizado na Itália, comparou a emissão de poluentes de carros novos e carros com 40.000 km, obtendo valores de emissão de CO até duas vezes superiores, no veículo usado (AVILLA, 1989), em relação ao modelo novo.

Há claras evidências dos prejuízos causados à saúde humana pelo gás CO, que em pequenas concentrações pode causar mal estar, irritabilidade, etc, e à altas concentrações pode causar até a morte.

Outro motivo de preocupação é pelo fato do monóxido de carbono contribuir para a elevação do teor de ozônio troposférico.

O principal atrativo dos combustíveis oxigenados é diminuir a emissão de CO. No entanto, é importante frisar que: um carro regulado para gasolina pura, quando recebe um produto oxigenado, passa a ter um maior excesso de ar e tende a ter uma menor emissão de CO.

Um carro projetado apenas para álcool ou metanol, também emite CO: os valores dependerão do tipo de equipamento.

4.1.4 MATERIAIS PARTICULADOS - O SMOG NEGRO

A preocupação com o "smog" de grandes cidades como Londres e Los Angeles levou os pesquisadores a classificarem o "smog" em dois tipos. Um deles, o smog fotoquímico ocorre nos dias quentes e secos, principalmente devido ao aumento do teor de ozônio. O outro tipo de "smog" ocorre nos dias frios e úmidos, e está ligado à emissão de materiais particulados. Estes materiais são pequenas partículas sólidas provenientes da combustão incompleta de compostos de carbono e de enxofre. São encontrados principalmente nos gases de descarga dos motores diesel.

Os materiais particulados provenientes da queima do diesel são extremamente pequenos. Alguns especialistas em saúde acreditam que os materiais particulados agravam os problemas respiratórios.

Suspeita-se, também, que os materiais particulados possam diminuir a visibilidade em algumas cidades. Outro problema em que participam os materiais particulados são as inversões térmicas^{4.11}.

4.11 A chamada inversão térmica ocorre quando há uma brusca queda da temperatura ambiente; muitos gases e partículas que estavam em suspensão deslocam-se para a parte mais baixa da atmosfera.

4.1.5 ASPECTOS CONTROVERTIDOS

Nas seções anteriores comentou-se os principais problemas ambientais ligados ao uso de combustíveis. É importante ressaltar que muitas afirmações podem parecer contraditórias, porque essencialmente trata-se frequentemente de estudos recentes e em desenvolvimento.

Segundo alguns estudiosos há algumas dúvidas quanto ao efeito estufa. Nos últimos 100 anos a temperatura da terra aumentou $0,5^{\circ}\text{C}$, coincidindo com um aumento significativo do teor de CO_2 na atmosfera. Praticamente este aumento de temperatura ocorreu até 1940, e grande parte da emissão de CO_2 e outros ocorreu após este ano (OIL E GÁS JOURNAL, 19 nov. 1990).

Além disto, medidas precisas feitas por satélites indicam que a temperatura da terra manteve-se constante nos últimos 10 anos. Os resultados dos modelos teóricos indicam que deveria ter ocorrido uma elevação de $0,2^{\circ}\text{C}$. Existem outras controvérsias como estas (OIL E GÁS JOURNAL, nov. 1990).

Outra questão interessante é apresentada no estudo sobre a cidade do México, após a substituição da gasolina com chumbo, por outra com menor teor, e aditivada com um detergente orgânico. O objetivo desta mudança foi diminuir o teor de chumbo observado nas amostras de materiais particulados (TORRES, 1989). No entanto, o estudo mostrou que houve um acentuado aumento do teor de ozônio na atmosfera após a mudança do tipo de gasolina.

O interesse por combustíveis oxigenados está ligado à possibilidade de se diminuir a emissão de monóxido de carbono. Por outro, se o produzido por biomassa, pode colaborar para o controle do efeito estufa.

Mas o uso significativo desses combustíveis só tem ocorrido no Brasil. Desta forma, foram feitos poucos estudos sobre os efeitos do uso desses combustíveis na qualidade do ar.

Foi feito um estudo na cidade do Rio de Janeiro, sobre a presença de aldeídos-formaldeídos e acetaldeídos, formados principalmente quando ocorre a combustão de produtos oxigenados. A conclusão foi que a maior concentração dos aldeídos faz com que a concentração de PAN seja maior que $5 \text{ ppbv}^{4.12}$.

O estudo ressaltava que os aldeídos influenciam a formação do "smog" fotoquímico, isto é, aumentou a concentração de O_3 . O PAN é considerado um produto bastante estável e muito irritante aos olhos (TUNNER, 1988).

Há controvérsias também quanto ao aumento do ozônio. Em alguns estudos admite-se que o NO_x tende a diminuir o ozônio (KIRCHOFF, 1987). Outros estudos já admitem uma correlação direta entre NO_x e O_3 (DRUMMOND, 1989).

4.12 Ppbv - parte por bilhão volumétrico.

4.2 TENDÊNCIAS PARA A GASOLINA

4.2.1 ASPECTOS GERAIS

Conforme já comentado anteriormente nesta dissertação, em certo momento a produção de gasolina confundiu-se com a própria atividade de refino, tal era a demanda, a pesquisa e montagem de unidades que permitiam aumentar a produção o melhorar a qualidade.

O resultado é a atual diversidade de tipos de unidades produtoras de gasolina, que conferem uma alta capacidade de conversão de petróleo em gasolina e uma gama muito grande de tipos de moléculas componentes da gasolina. O melhor exemplo são os EUA, tanto em termos de demanda quanto de capacidade de produção. A tabela 4.5 resume bem estes conceitos.

TABELA 4.5
PRODUÇÃO DE GASOLINA NOS EUA

UNIDADE	PRODUÇÃO DIÁRIA BPD	%	OCTANAGEM			
			RON	MON	%ARO (4)	%OLE (5)
REFORMA	1847302	27,2	97,7	87,4	82,6	0,7
CRAQUEAMENTO CAT. (FCC)	2551392	37,6	92,1	80,7	29,2	29,1
ALQUILADA	831347	12,2	93,2	81,1	0,4	0,5
DESTILAÇÃO DIRETA	250175	3,7	74,1	72,1	2,8	0,8
HIDROCRAQUEAMENTO	165179	2,4	82,8	79,2	2,7	0,2
N - BUTANOS	210976	3,1	94,2	89,6	0,0	2,7
BTX (1)	91848	1,3	110,3	100,9	85,3	0,0
NAFTA DE COQUE	45905	0,7	82,0	74,5	4,5	35,2
GASOLINA NATURAL	35547	0,5	72,8	70,5	2,6	0,8
DE PIRÓLISE (2)	20012	0,3	96,1	83,9	58,3	9,4
MTBE	55061	0,8	115,2	100,3	1,0	0,1
CS + ISOMERIZAÇÃO	249622	3,7	88,3	85,4	1,4	0,7
"OUTROS"	334323	6,5	--	--	--	--
TOTAL	6788689 (3)					

Observação

(1) Benzeno - Tolueno - Chileno

(2) Pirólise - Unidade Petroquímica

(3) Média Abril-Setembro de 1990 - consumo total de petróleo e derivados: 16488000 BPD

(4) % de compostos aromáticos

(5) % de olefinas

Fonte: (OIL & GAS JOURNAL, Jun. 1990)

Na Europa há uma predominância da gasolina reformada mas há diversos processos de produção, como nos EUA. No Brasil, praticamente a gasolina é formada por naftas do craqueamento catalítico e um pouco de nafta de destilação direta. O consumo de

gasolina ocorre principalmente devido aos automóveis. Em 1979 estimava-se a existência de 300 milhões de carros (HIPPEL, 1987), só no âmbito da OCDE^{4.13}.

Na década de 70, quando começou-se a estudar mais intensamente os problemas ambientais das cidades, identificou-se os gases de combustão dos automóveis como os principais agentes.

O chumbo tetraetila, usado como promotor de octanagem, começou dar lugar a outros produtos. Mas a preocupação com o chumbo foi apenas o começo. Passou-se, então, a estudar outros poluentes, como os óxidos de nitrogênio e a emissão de hidrocarbonetos.

As agências de proteção ambiental, como a EPA nos EUA, começaram a impor padrões de qualidade para as emissões dos novos carros, influenciando o projeto dos automóveis. A tabela 4.6 mostra os principais limites de emissão para os EUA e Brasil.

TABELA 4.6
LIMITE DE EMISSÕES DE AUTOMÓVEIS

		EUA		BRASIL	
		ATUAL	FUTURA (1995)	ATUAL	FUTURA (1997)
DO ESCAPAMENTO					
HIROCARBONETOS	g/km	0,26	0,16	2,1	0,3
CO	g/km	2,1	2,1	24,0	2,0
NO _x	g/km	0,63	0,25	2,2	0,6
POR EVAPORAÇÃO					
HIROCARBONETOS	g/teste	2,0	2,00 35AC	6,0	

Fonte: (OIL & GAS JOURNAL, 1990 Jun. p.33 : PETROBRÁS, 1991)

Um outro aspecto importante é a atual tendência de estabilização ou queda do consumo de gasolina. Isto porque vai sendo feita uma restrição ao uso dos automóveis. Além disto, há uma pressão para que os carros tornem-se mais eficientes. Por exemplo, foi feito um modelo teórico, que para um carro pequeno estimou o consumo de 1,3 l/1000 km, a média obtida para um carro foi 10 l/100 km. Assim o estudo mostrou que há muito para ser feito na área de economia de combustível (HIPPEL, 1987).

Além disto, muitos estudos mostram uma forte correlação entre preço e consumo. O preço da gasolina tende a subir, a medida que são feitas mais exigências de qualidade.

4.2.2 A ERA PÓS CHUMBO TETRAETILA - OS PROMOTORES DE OCTANAGEM OXIGENADOS

Na Europa e EUA atualmente comercializa-se dois tipos de gasolina, a isenta de chumbo, conhecida internacionalmente como "unleaded" e a gasolina com chumbo, ou "leaded".

4.13 Organização Econômica de Cooperação e Desenvolvimento, formada por todos os países da Europa Ocidental e mais EUA, Austrália, Japão, Canadá e Turquia.

O chumbo tetraetila é um produto tóxico, e é absorvido pelos seres humanos, acumulando-se até provocar o colapso do organismo.

Nas cidades onde os automóveis usam gasolina com chumbo, este produto é encontrado nos materiais particulados. Este foi um argumento para o início da produção da gasolina isenta de chumbo, mas não o mais forte.

A grande preocupação ambiental das cidades era as altas concentrações de monóxido de carbono. Surgiram, então, os chamados "reatores catalíticos", isto é, um equipamento de dois a quatro litros de volume, por onde passam os gases de combustão. No reator há uma malha cujo suporte é de cerâmica, envolvida em alumina - Al_2O_3 ; os centros ativos propriamente ditos são pequenos núcleos de platina, paládio e rádio^{4.14}.

As principais reações que ocorrem são, a conversão dos hidrocarbonetos em CO_2 e água, conversão do CO em CO_2 , conversão do óxido de nitrogênio em gás (N_2). Ocorrem ainda uma série de reações secundárias.

O uso do reator diminui a emissão de hidrocarbonetos, CO e NO_x . Entretanto, não elimina totalmente estes gases.

Com o advento da tecnologia dos reatores catalíticos observou-se que o chumbo diminuía muito a vida do equipamento, aceito como um bom aliado na preservação do meio ambiente. Desta forma surgiu a gasolina sem chumbo. A gasolina com chumbo continuou a ser comercializada^{4.15}, tendo em vista os carros sem reator catalítico.

Um outro enfoque dado a questão poluição, foi a necessidade de aumentar a octanagem, para se obter um maior rendimento^{4.16} e, assim, poluir menos.

Na Europa a gasolina mais comercializada é a super, de 85 octanagem MON e 95 de octanagem RON. Nos EUA, há a gasolina "Regular" octanagem MON de 82 e média 87 (RON e MON). Há também a gasolina prêmio, cuja octanagem média é superior a 91^{4.17}. Algumas empresas vendem gasolinas prêmios de octanagem 93, chamadas de super^{4.18}.

Principalmente no início da década passada, face aos problemas ambientais e por se objetivar substituir os derivados de petróleo, surgiram os produtos oxigenados. A seguir comenta-se os principais produtos e suas características.

4.14 Sobre a cerâmica há uma camada de Al_2O_3 . Sobre esta é colocado o catalisador, ou seja, um metal com a seguinte composição: 4(Mg, Fe)O, 4 Al_2O_3 , 10 SrO_2 , H_2O , com centros ativos de platina, paládio e rádio.

4.15 Em alguns países em desenvolvimento ainda há o uso da gasolina com chumbo.

4.16 O rendimento de motores está ligado a taxa de compressão que por sua vez determinará a octanagem mínima compatível.

4.17 A octanagem é a média das octanagens do método motor (MON) e pesquisa (RON).

4.18 Continuam sendo gasolinas prêmio, mas as empresas, na disputa de mercado, oferecem gasolina de maior octanagem que acabam sendo chamadas de super.

4.2.2.1 O METANOL

é considerado um dos combustíveis do futuro. é produzido quase que totalmente do gás natural, podendo, no entanto, ser produzido por rotas alternativas, partindo-se do carvão, mineral e vegetal, e, também, de madeira, lixo e etc, exigindo, no entanto, altos investimentos. Outro ponto que o torna atrativo é o baixo preço, quando produzido do gás natural, pouco superior ao da gasolina e muito inferior aos outros combustíveis oxigenados.

Estes atrativos impulsionaram o uso de metanol no início da década passada, quando o preço da gasolina aumentou drasticamente, passando de 0,60 a mais de 1,00 US\$/gal, preço refinaria, nos EUA. Muitas plantas de metanol foram contruídas, mas o mercado não evoluiu. Em consequência o preço do metanol chegou a 0,28 US\$/gal, enquanto os custos de produção eram estimados em torno de 0,50 US\$/gal, fazendo muitas unidades produtoras encerrarem as atividades (WANG, 1988).

O metanol não é facilmente solúvel na gasolina^{4.19}. Assim, foi razoavelmente difícil a comercialização da mistura gasolina-metanol. Por outro lado, carros só a metanol devem ser comercializados nos EUA a partir de 1997. Os carros multi-combustível, que podem usar misturas de gasolina, metanol e etanol^{4.20}, ainda estão sendo desenvolvidos.

Hoje o metanol só é usado indiretamente pelo setor de transporte. Noventa e cinco por cento do metanol destina-se à produção de MTBE e o restante, outros produtos (ALTMORE, 1988). Mas há um série de pesquisas com automóveis usando desde metanol puro a diferentes misturas de metanol com gasolina. A seguir mostra-se os principais resultados de um desses estudos, realizado em um motor monocilíndrico.

Uma das vantagens do uso do metanol é o aumento da eficiência dos motores com é apresentado na tabela 4.7 obtendo-se um significativo aumento de eficiência.

TABELA 4.7
COMPARAÇÃO DA EFICIÊNCIA TÉRMICA DE UM MOTOR
OPERANDO COM GASOLINA E METANOL

RELAÇÃO AR/COMBUSTÍVEL	COMBUSTÍVEL		
	GASOLINA	50% GASOLINA +50% METANOL	METANOL
0,8	26,8	31,00	32,00
0,9	26,8	31,00	32,00
1,0	26,3	30,00	31,50
1,1	25,0	28,00	29,50
1,2	23,0	26,00	27,00

Fonte : (SAPRE, 1989)

4.19 Mistura obtida pelo uso de um co solvente como o álcool etílico ou aditivos químicos.

4.20 Nos EUA estão sendo desenvolvidos sob a sigla de FFV (veículos de combustível flexível).

Outro aspecto de grande importância é o efeito do metanol na emissão de CO. Segundo testes realizados nos EUA (SAPRE, 1989), a emissão de CO está ligada à relação ar-combustível. O teor de metanol tem pequena influência sobre esta emissão, desde que a adição de metanol seja acompanhada do ajuste da relação ar-combustível.

TABELA 4.8
COMPARAÇÃO DA EMISSÃO DE NO_x EM MG/J DE UM MOTOR
OPERANDO COM GASOLINA E METANOL

RELAÇÃO AR/COMBUSTÍVEL	GASOLINA	COMBUSTÍVEL 50% GASOLINA +50% METANOL	METANOL
0,8	4,0	6,4	6,4
0,9	6,5	6,5	6,0
1,0	7,0	6,0	5,0
1,1	6,0	4,8	2,2

Fonte : (SAPRE, 1989)

A emissão de NO_x é bastante influenciada pela relação ar-combustível. No ponto estequiométrico, cuja relação é 1,00 a emissão é maior para a gasolina. Justifica-se, esta têm maior temperatura de combustão.

Outro aspecto importante é a emissão de material não queimado, ou seja, hidrocarbonetos e metanol, os resultados estão na tabela 4.9, indicando um aumento de emissão com a adição de metanol.

TABELA 4.9
COMPARAÇÃO DA EMISSÃO DE MATERIAL NÃO QUEIMADO EM MG/J
DE UM MOTOR OPERANDO COM GASOLINA E METANOL

RELAÇÃO AR/COMBUSTÍVEL	GASOLINA	COMBUSTÍVEL 50% GASOLINA +50% METANOL	METANOL
0,8	0,5	0,75	5,0
0,9	1,6	1,80	7,5
1,0	1,8	2,00	9,0
1,1	2,6	2,80	10,0
1,2	3,0	3,8	13,0

Fonte : (SAPRE, 1989)

É claro que os resultados apresentados pelas tabelas 4.7, 4.8 e 4.9, valem exclusivamente para o motor testado. Porém indicada resultados interessantes, que podem ser extrapolados, como tendências ao etanol.

O resultado que chama bastante a atenção é o aumento acentuado da emissão de material não queimado. Este tipo de emissão participa da formação de ozônio e PAN.

A seguir na tabela 4.10, mostra-se outras comparações, envolvendo os tres combustíveis, das tabelas anteriores.

TABELA 4,10
COMPARAÇÃO DA GASOLINA E METANOL EM
UM MOTOR OPERANDO COM GASOLINA E METANOL

COMPARAÇÃO	COMBUSTÍVEL		
	GASOLINA	MISTURA (A)	METANOL
ÍNDICE DE OCTANOS MOTOR	83	88,5	85,5
ÍNDICE DE OCTANOS PESQUISA	92	105	107
TAXA DE COMPRESSÃO ADOPTADA	7,8	9,8	9,8
EFICIÊNCIA TÉRMICA %	33,0	37,5	38,5
EMIÇÃO DE NOx ,ug/l	7,2	6,0	5,0
EMIÇÃO DE FORMALDEÍDO ,ug/l	0,02	0,053	0,234
EMIÇÃO DE METANOL , ug/l	0,00	1,15	8,11

Fonte : (SAPRE, 1989)

O metanol aparece como um promissor combustível e também como aditivo da gasolina. Mas ainda não está totalmente equacionada a questão da toxicidade do metanol, bem como do formaldeído, produto da combustão do metanol.

Na tabela 4.11 apresenta-se uma estimativa de consumo e produção de metanol nos EUA.

TABELA 4.11
PRODUÇÃO E DEMANDA DE METANOL - EUA

	1985	1990	1994	2000
PRODUÇÃO BPD	64385	96870	97790	108300
IMPORTAÇÃO	23233	45942	55787	82040
TOTAL	87618	142812	153577	190340
DEMANDA				
QUÍMICA	72280	85650	85650	95170
PRODUÇÃO MTBE	6235	31962	42595	112952
COMBUSTÍVEL	4923	984	1970	6593

Fonte: (ULZEMAN, 1990)

4.2.2.2 O MTBE

O MTBE, como é conhecido internacionalmente, é o metil-eter-butil, de fórmula $C_5H_{12}O$, e estrutura $(CH_3)_3COCH_3$. É o produto oxigenado de maior utilização no mundo.

O uso do MTBE ocorre devido à boa compatibilidade com a gasolina, totalmente miscível, e baixa pressão de vapor. Assim o MTBE e seus similares, como o ETBE^{4.21}, são considerados até agora, como a melhor maneira de adicionar produtos oxigenados à gasolina (UNZELMAN, 1989).

O MTBE tem um índice de octanos menor que o etanol e o metanol, mas apresenta outras vantagens. Por exemplo, uma

4.21 Etil-éter-butil, similar ao MTBE, porém o produzido a partir do etanol.

gasolina com 10% de etanol tem a pressão de vapor aumentada em 0,07 Kgf/cm², em relação a gasolina pura. Com 10% de MTBE, praticamente não ocorre variação da pressão de vapor.

Outro aspecto bastante discutido é o teor máximo de oxigenados na gasolina. Na Europa tem-se limitado em 2,0% o teor de oxigênio na gasolina, corresponde a 10% de MTBE ou 5% de etanol^{4.22}. Assim, o MTBE pode ser usado em maior quantidade, aumentando mais a octanagem da gasolina.

A Agência de Proteção Ambiental dos EUA - EPA - limitou os oxigênios em 3,5%. O produto é chamado de "gasohol" e corresponde a 90% de gasolina e 10% de etanol.

Um outro aspecto que limita o uso de oxigenados é a questão dos óxidos de nitrogênio. As pesquisas realizadas indicam que combustíveis com mais de 3,5% de oxigênio aumentam muito a emissão dos NO_x, quando o controle é feito com reatores catalíticos (UNZELMAN, 1989). Assim, há dúvidas que a EPA aumentara o limite máximo de oxigênio nas gasolinas.

Atualmente só nos EUA a capacidade instalada de produção de MTBE é superior a 190.000 BPD. Estas plantas foram todas contruídas na década passada.

O MTBE é produzido pela reação do metanol com olefinas de quatro átomos de carbono. Destaca-se o isobuteno. É interessante observar que até agora o metanol tem sobrado no mercado mundial. Por outro lado há uma tendência a diminuir a pressão de vapor das gasolinas. Assim os butanos tendem a sobrar^{4.23}. No capítulo 2 desta dissertação, apresentou-se um esquema de produção de MTBE.

Quanto à diminuição do teor de CO nos automóveis em uso, ou seja automóveis sem reator catalítico e regulados para gasolina pura, os diversos produtos oxigenados são equivalentes, correspondendo ao aumento da relação ar-combustível. A seguir, na tabela 4.12, apresenta-se algumas propriedades de mistura dos principais produtos oxigenados. Na tabela 4.13 mostra-se a produção de MTBE.

4.22 O limite de oxigênio máximo está ligado a dirigibilidade do carro, acima de 2,7% é necessário regulagens.

4.23 Até agora os butanos eram usados como promotores de octanagem. Além do uso na gasolina os butanos são usados como GLP (gás liquefeito de petróleo). Uma das rotas possíveis para produzir metanol, será separar as correntes de butanos, enviando-a para uma unidade de isomerização, produzindo o isobutano e promover uma desidrogenação para aumentar a concentração de isobuteno. Este tipo de rota vem sendo pesquisado.

TABELA 4.12						
PROPRIEDADES DE MISTURA DOS COMPOSTOS OXIGENADOS						
PRODUTO	OCTANAGEM		PRESSÃO DE		T.EBULIÇÃO	% O ₂
	NA MISTURA		VAPOR kgf/cm ²		° C	PESO
	RON	MON (RON+MON)/2				
METANOL	133	99	116	4,1	65	50,0
ETANOL	130	96	113	1,36	77,8	34,7
MTBE	118	100	109	0,61	55	18,2
ETBE	118	102	110	0,27	70	15,7

Fonte: (UNZELMAN, 1990)

TABELA 4.13
PRODUÇÃO DE MTBE NO MUNDO - EM 1000 BPD

REGIÃO	CAPACIDADE ATUAL	EM CONSTRUÇÃO	EM ESTUDOS
USA	118	93,1	85,6
BRASIL*	2,7	1,1	-
AMÉRICA DO SUL**	-	56,9	-
OUTROS PAÍSES	80,0	143,50	60,6
TOTAL	200,7	294,6	146,2

* Plantas da COPENE e COPESUL.

** Exclui Brasil - estão sendo construídas grandes unidades na Venezuela (43500) e Argentina (13400).

Fonte: (UNZELMAN, 1990)

4.2.3 EMISSÃO DE HIDROCARBONETOS

Basicamente dois aspectos estão influenciando a produção de gasolina: a quantidade de hidrocarbonetos emitidos, e a natureza desses produtos.

O processo de evaporação ocorre no tanque do automóvel, que é um recipiente aberto, em contato com a atmosfera. Quando o tanque é aquecido, por exemplo devido ao aumento da temperatura ambiente, as frações mais leves vaporizam e saem do tanque. Para se medir esta tendência, especifica-se a pressão de vapor das gasolinas^{4.24}.

Outro tipo de vaporização ocorrem com as chamadas "perdas a quente"^{4.25}. Quando um carro percorre um trecho qualquer e para, uma parte do combustível fica no carburador e vai vaporizando para o meio ambiente devido ao calor do motor. Atualmente existe um equipamento, chamado canistor, que atenua esses problemas. Mas há uma tendência internacional, de gradativamente reduzir a pressão de vapor das gasolinas.

4.24 Nos EUA é variável de acordo com a região e a época do ano. No Brasil é fixada em 0,7 kgf/cm² válida para todo o ano e todo território nacional.

4.25 Nos textos em inglês aparece como soak - losses.

A agência de proteção ambiental americana, EPA, reduziu a especificação de pressão de vapor da gasolina, a partir de 1989, em 1.0 psia. Em 1992 haverá outra redução de 1,6 psia. Estas reduções valem apenas para o período de Maio a Setembro.

A primeira redução equivaleu à retirada de 114.000 BPD e a segunda à retirada de 150.000 BPD de butanos do pool de gasolina.

A outra preocupação é quanto à natureza das emissões. Os produtos aromáticos são hidrocarbonetos reativos e contribuem para a formação do ozônio da troposfera. Em particular o benzeno é considerado um produto cancerígeno.

Os produtos aromáticos participam das perdas evaporativas, principalmente o benzeno, que tem um baixo ponto de ebulição. No EUA, dado a predominância dos postos de gasolina do tipo "self service", considera-se que estes postos sejam o ponto crítico da exposição humana às emissões elevadas de benzeno.

Por outro lado, um combustível com alto teor de aromáticos apresentará maiores teores desses produtos nos gases de combustão, principalmente nas partidas quando o motor ainda está frio e não queima totalmente o combustível.

Os compostos aromáticos tem um alto índice de octanos e, portanto, são desejáveis para a produção de gasolina, como fica evidenciado na tabela 4.14. As agências de proteção ambiental estão estudando limites, provavelmente cerca de 20% de aromáticos, mas ainda não há consenso.

TABELA 4.14
ÍNDICE DE OCTANOS E PONTO DE EBULIÇÃO DE AROMÁTICOS

PRODUTO	OCTANAGEM		PONTO DE EBULIÇÃO
	RON	MON	⁰ C
BENZENO	106	88	80
TOLUENO	114	93	110,5
P - XILENO	120	98	138,3
C ₉ - AROMÁTICO	117	98	*

* Produto não puro.

4.2.4 TENDÊNCIAS GERAIS PARA A GASOLINA

Como conclusão das seções precedentes pode-se dizer que nos próximos anos haverá grandes modificações com a gasolina. Talvez a alteração mais importante será a generalização do uso de misturas de produtos oxigenados na gasolina.

Muito provavelmente na Europa e EUA o MTBE deverá caminhar para os 10 a 15% do pool total de gasolina. Isto porque a "indústria do petróleo" se resentirá da falta de "booster" de octanagem, como os n-butanos e os compostos aromáticos, provenientes das altas severidades das unidades de craqueamento catalítico e reforma. Por outro lado, o gás natural continuará a se expandir, facilitando a implantação de plantas de metanol-hidrogênio. Tenderá a sobrar ainda mais butanos provenientes da maior produção de gás.

Neste contexto deverá se inserir rapidamente o MTBE, como "booster" de octanagem, obtido principalmente das correntes de butanos que tenderiam a ficar sem utilidade.

Neste enfoque, pode-se prever um crescimento das unidades de isomerização-alquilação. Em outras palavras, haverá a transformação de butanos em gasolina de alta octanagem.

Quanto ao uso dos produtos oxigenados puros, com exceção do Brasil, não deverá ser utilizado nesta década. Apenas os EUA planejam para 1997 uma frota de 1000.000 de carros com combustíveis ditos limpos - metanol, etanol, gás natural e energia elétrica.

Mesmo nos EUA, muito se falava sobre o uso do metanol, entre outras razões, devido a sobra do produto. Porém com o advento das gasolinas reformuladas, que atenuam os problemas de poluição, geram grande consumo de MTBE, que por sua vez consome quase todo o metanol do mercado. Desta forma, aparentemente não há tendência de crescimento de frotas usando metanol puro.

O uso destes produtos ainda está limitado por problemas de custo. Há pressões tanto na Europa como nos EUA para que o governo subsidie a produção de etanol agrícola, para que o preço ao consumidor não inviabilize seu uso. A seguir na tabela 4.15 se indica estimativas de custo feita por os EUA.

TABELA 4.15
PREÇOS HISTÓRICOS E ESTIMADOS

ANO	GASOLINA PREMIO US\$/gal	PETRÓLEO US\$/bbl	METANOL US\$/gal	MTBE US\$/gal	ETANOL -	ETBE -
1975	0,412	10,38	0,40	-	-	-
1976	0,434	10,89	0,40	-	-	-
1980	1,058	28,07	0,59	-	1,75	-
1981	1,198	35,24	0,59	1,18	1,75	-
1985	0,858	26,75	0,43	1,02	1,49	-
1986	0,526	14,67	0,31	0,68	1,05	-
1990	0,684	18,99	0,40	0,94	1,23	-
1991	0,718	19,00	0,41	1,09	1,27	1,20
1995	0,850	23,00	0,46	1,20	1,50	1,32
1996	0,86	24,00	0,48	1,22	1,58	1,34
1998	0,885	25,00	0,53	1,33	1,60	1,47
2000	0,900	25,00	0,55	1,36	1,60	1,49

Fonte: (UNZELMAN, 1990)

Devido ao seu preço, pode-se entender a dificuldade do etanol ser usado puro nos EUA. A maior penetração do metanol nos EUA, se deve à razões diversas, sendo a mais importante a existência de várias frotas experimentais.

Por outro lado, parece claro que os produtos oxigenados farão parte da gasolina. Muito provavelmente na maioria dos países se estipulara um teor máximo e mínimo.

Nos EUA, foram classificadas as regiões mais críticas quanto à poluição; por exemplo, a Califórnia é uma delas, onde os teores de ozônio são bastante superiores ao máximo desejado e também há concentrações elevadas de monóxido de carbono. Para

estas regiões estão sendo usadas as chamadas gasolinas reformuladas. De um modo geral, estas são gasolinas oxigenadas, com baixo PVR e alta octanagem. A tabela 4.16 mostra as principais características destas gasolinas.

TABELA 4.16
GASOLINAS REFORMULADAS

EMPRESA	NOME	REGIÃO	P. VAPOR PSIA	AROMÁTICOS % VOL TOTAL	BEN	% OXIGÊNIO TÍPICA
ARCO	EC 1	CALIFORNIA	8.5	20.0	1.0	1.0
DIA.	RG 87	COLORADO	8.5	20.0	1.0	2.0
SHAMROCK						
CONOCO	RXL	COLORADO	8.5	25.0	2.0	2.5
		MONTANA				
PHILLIPS	SUPER	ST. LOUIS	9.0	20.0	1.0	1.0
	CLEAN					
CHEVROM	SUPREME	LOS ANGELES		-	-	1.0
		SAN DIEGO	8.5			

Fonte: (UNZEMAN, 1990)

A gasolina comercializada pela ARCO tem 88 de índice de octanos e foi reduzido o teor de olefinas. O resultado é uma gasolina considerada limpa. A EC-1 emite menos óxidos de nitrogênio, hidrocarbonetos e monóxido de carbono. Esta gasolina está sendo considerada uma boa maneira de reduzir o "smog" das cidades (LOOK, 1989).

4.3 PROBLEMAS E PERSPECTIVAS DA GASOLINA BRASILEIRA

4.3.1 ASPECTOS GERAIS - O CONSUMO

De certa forma o que mais chama a atenção em relação à gasolina brasileira é o seu baixo consumo; como é mostrado na tabela 4.17. Este fato fica mais evidenciado quando os consumos são comparados com outros países como na tabela 4.18.

TABELA 4.17
CONSUMO DE DERIVADOS E ALCOOL 1990

PRODUTO	CONSUMO -1000 BPD JAN/DEZ - 90	%	% VARIAÇÃO EM RELAÇÃO 89
GLP	158	13.68	+ 5.8
NAFTAS E GASÓLEO	142.2	12.31	- 0.3
GASOLINA (PURA)	162.9	14.10	+ 14.4 (*)
DIESEL + QUEROSENE	477.6	41.34	- 1.9
ÓLEO COMB.+ ASFALTOS	202.0	17.49	- 4.8
LUBRIFICANTES	12.5	1.08	-
TOTAL	1155.20	100.0	
ÁLCOOL HIDRATADO	174.1		
ÁLCOOL ANIDRO	21.1 **		
GASOLINA + Á. ANIDRO	184.0		

Fonte: Estatísticas da PETROBRÁS

Comentários da tabela 4.17

* O aumento do consumo de gasolina deve-se principalmente a falta de álcool e assim foi comercializado até gasolina pura - a chamada gasolina prêmio - e mistura de gasolina com menor teor de álcool.

** A média de álcool na gasolina foi de 11,5% enquanto a gasolina C é especificada para 20% mais ou menos 2% .

TABELA 4.18
PROPORÇÃO DE CONSUMO DE GASOLINAS E DIESEL

REGIÃO	% GASOLINA	% DIESEL	GASOLINA/ DIESEL	(1)
EUA	47	27	1,74	3,5
EUROPA OCIDENTAL	27,3	41	0,67	1,33
JAPÃO	18,3	42	0,44	0,87
ITÁLIA	14,3	17,5	0,41	0,82
ÍNDIA	-	-	0,14	0,14
BRASIL	12,31	41,3	0,30	0,30

Fonte: (BRITISH PETROLEUM, 1988)

Comentário:

(1) estimou-se que metade do consumo em diesel automotivo e a outra metade usado na calefação.

A qualidade da gasolina de certa forma pode ser associada ao tipo e variedade de unidades produtoras. No caso do Brasil, tomando-se como base o ano de 1990, a gasolina foi quase toda produzida em unidades de craqueamento catalítico.

No mundo todo, boa parte da gasolina é feita de reforma catalítica. Para o Brasil, esta rota é impraticável porque, além do consumo de nafta petroquímica ser alto ^{4.26}, há excedentes de gasolina no país.

Por outro lado, as unidades do tipo alquilação, que tendem a ser construída nos diversos países face a excelente qualidade de gasolina produzida - alta octanagem e baixo teor de aromáticos -, também não se adapta ao Brasil. Eles porvocariam excedentes de gasolina ainda maiores e agravariam a importação de GLP.

Assim outros tipos de unidade de produção de gasolina não se adaptam ao perfil do mercado brasileiro, condicionando a gasolina a ser tipicamente de craqueamento catalítico.

Curiosamente, os petróleos que estão sendo encontrados no Brasil têm um alto teor de gásóleo, tendendo assim, a aumentar a produção de gasolina. A tabela 4.19 ilustra esta característica do petróleo nacional devidamente inserida na estrutura de refino no país.

4.26 O Brasil tende a importar nafta petroquímica. Isto é nafta de destilação direta. A unidade de reforma consome este produto.

TABELA 4.19
PRODUÇÃO DE GASOLINA MÍNIMA

CONSUMO PETRÓLEO - BPD	% DE GASÓLEO	GASOLINA BPD
1.100.000	22	145.000
1.100.000	24	158.000
1.100.000	26	171.000
1.200.000	22	158.000
1.200.000	24	172.800
1.200.000	26	187.000
1.400.000	22	185.000
1.400.000	24	201.600
1.400.000	26	218.400

De um modo geral, quando se fala em qualidade da gasolina, se pensa em índice de octanos, composição química - aromáticos e olefinas - , e teor de enxofre.

O enxofre não é muito problemático, tendo em vista a produção de petróleos nacionais. A composição química está, condicionada ao tipo de unidade produtora. Seria melhor que o pool contivesse mais gasolina alquilada, como forma de diminuir as olefinas e aromáticos.

Por outro lado, o índice de octanos, que atualmente está especificado em no mínimo 80.0 MON, com álcool, equivale à gasolina unleaded americana com octanagem $(MON + RON)/2$ maior ou igual a 87.

Facilmente, caso houvesse um acordo com o DNC - Departamento Nacional de Combustíveis, a especificação da gasolina brasileira poderia também ser MON + RON maior ou igual a 87, ou seja, compatível com a especificação americana.

4.3.2 A GASOLINA E O ÁLCOOL

Do ponto de vista da octanagem, o álcool adicionado à gasolina contribui para melhorar a sua qualidade. Inclusive em relação aos carros mais antigos, produzidos até 1980, o álcool contribui para a redução das emissões de CO.

Mas há uma série de outros pontos que precisam ser melhor avaliados. O primeiro refere-se à homologação dos motores com 22% de álcool. Esta é o limite acima do qual seriam necessários maiores ajustes nos motores. Este procedimento impede que o álcool seja usado no controle sazonal ou regional do monóxido de carbono, como é feito nos EUA.

Os carros regulados para 0% de oxigenados quando recebem combustível com maior teor de oxigênio emitem menos CO. No entanto, um carro regulado para 22% de álcool emite CO em uma proporção muito próxima à de um carro com gasolina pura e, se faltar o álcool, emitirá muito mais CO, já que se altera a relação ar - combustível. Este fato ocorreu no Brasil em 1990.

Ainda não foram devidamente estudados os efeitos na atmosfera, do alto teor de oxigênio de um combustível, em termos de aldeídos e seus produtos atmosféricos como o PAN. Também não foi feito estudo sobre os efeitos prováveis da elevação da pressão de vapor da gasolina e seus efeitos na atmosfera.

O problema da variação do teor de oxigenados está ligado à regulagem da relação ar-combustível. Desta forma, um carro regulado para 20% de álcool, ao reduzir-se este teor, diminuirá a relação ar - combustível, aumentará a formação de sujeira nas velas e a emissão de CO. Analogamente, o aumento do teor de álcool altera a relação ar-combustível daí a redução do CO. Em contra partida, o automóvel não estará operando no ponto de máxima eficiência. Por outro lado, com o poder calorífico do álcool é menor^{4.27}, o aumento do teor de álcool diminui a energia disponível e, assim, a dirigibilidade começa ficar comprometida. Por exemplo, haverá dificuldades na aceleração em subidas e na retomada de velocidade.

Um aspecto bastante interessante é o efeito do álcool na octanagem da gasolina. Na década de 70 o derivado de petróleo de maior demanda no Brasil era a gasolina, obtida predominantemente a partir da nafta de destilação direta, que possui uma baixa octanagem. A partir da década de 80, face ao crescimento da demanda de naftas petroquímicas, obtidas na destilação direta, e à redução do mercado da gasolina, devido ao consumo de álcool motor, a gasolina brasileira tornou-se quase que exclusivamente gasolina craqueada^{4.28}.

A tabela 4.20 mostra o efeito do álcool na elevação do índice de octanos de dois tipos de correntes formadoras da gasolina. Para efeito de comparação, calculou-se a octanagem teórica das misturas, isto é, a média ponderada.

TABELA 4.20
EFEITO DO ETANOL NO ÍNDICE DE OCTANOS
ÍNDICES DE OCTANOS

PRODUTO	M O T O R			P E S Q U I S A		
	OBSER- VADO	TEÓRICO		OBSER- VADO	TEÓRICO	
ÁLCOOL ETÍLICO	89	-	-	1061	-	-
NAFTA DE DESTILAÇÃO DIRETA	59,1	-	-	622	-	-
NAFTA DE DESTILAÇÃO DIRETA + 20% ÁLCOOL	75,8	65	+10,8	80,8	70	10,8
NAFTA CRAQUEADA	80,5	-	-	91,7	-	-
NAFTA CRAQUEADA + 20% ÁLCOOL	81,9	82,2	-0,3	97,2	84,2	+2,6

Fonte: (SANTOS e FONTES, 1987)

4.27 O poder calorífico do álcool é 26743 kJ/kg e o da gasolina é 43950 kJ/kg.

4.28 Este fato, aliado, é claro, ao uso do álcool, permitiu que, em 1988, a PETROBRÁS eliminasse totalmente o uso da gasolina com chumbo.

É interessante se observar o baixo efeito na elevação da octanagem motor - MON da nafta craqueada. Hoje, com alguns tipos de catalisadores, tem-se chegado à octanagens superiores a 82,0. Assim, o efeito do álcool em gasolina deste tipo é bastante pequeno.

A atual especificação da octanagem mínima da gasolina brasileira é 80,0 motor. Como as naftas craqueadas normalmente já satisfazem esta condição, pode-se dizer que o álcool não é usado como aditivo de octanagem.

4.3.3 ASPECTOS ECONÔMICOS

Um item bastante discutido e de difícil conclusão diz respeito aos aspectos econômicos do uso do álcool, face à inexistência de dados confiáveis e aos aspectos políticos.

Alguns pontos podem ser analisados tomando-se como base a estrutura de preços dos derivados de petróleo que razoavelmente é semelhante nos diversos países.

Nesta estrutura, parte-se dos preços do petróleo nacional e importado, e do mercado nacional de óleo combustível, óleo Diesel, GLP, gasolina e QAV. Dados o preço médio do petróleo, em US\$/barril, a taxa de câmbio e as despesas de refino determina-se o valor médio dos derivados e fixa-se a margem do refinador.

A maioria dos países usam a gasolina para "arrecadar recursos" para determinados fins considerados estratégicos, como, por exemplo, subsídios ao óleo Diesel, GLP e QAV, investimentos em infra estrutura de transporte coletivo, etc.

A tabela 4.21 apresenta o preço da gasolina em alguns países, em setembro de 1980.

TABELA 4.21
PREÇO DA GASOLINA EM ALGUNS PAÍSES

PAÍS	PREÇO, EM US\$/l
ITÁLIA	1,30
SUÉCIA	1,28
DINAMARCA	1,18
FRANÇA	1,15
INGATERRA	0,94
ESPANHA	0,83
JAPÃO	0,80
BRASIL	0,60
EUA	0,42

Dois países destacam-se nesta tabela: a Itália e os EUA. A Itália é o país que mais intensamente usa a gasolina para arrecadar recursos. O preço bomba da gasolina italiana é cerca de sete vezes o seu preço ex-refinaria: ou seja, 85,7% do seu preço final é constituído por impostos. O valor arrecadado com a venda de gasolina é sempre superior ao dispêndio com a importação de

petróleo. Esta questão parece ser tão importante para os governos italianos que, apesar da Itália praticamente importar todo petróleo consumido^{4.29}, e foi o primeiro país a estudar e produzir o MTBE^{4.30} - não se optou pela produção intensiva do produto, face à perda de arrecadação. O custo estimado para o MTBE era de 2 a 3 vezes o custo da gasolina refinaria, e muito abaixo do preço bomba da gasolina. O mesmo raciocínio foi aplicado à possível produção de etanol de beterraba (GARIBALDI, 1988).

Quanto aos EUA deve-se ressaltar a questão cultural do país, desenvolvido com base no automóvel. Entretanto, no preço bomba da gasolina, há impostos da ordem de 26%. Para um consumo de cerca de 8 milhões de barris/dia, há uma arrecadação de impostos da ordem de 31 bilhões de dólares por ano.

No capítulo 6 será detalhado a política de preços de álcool e derivados de petróleo, e estimada a perda de arrecadação ou subsídios indiretos ao PROÁLCOOL.

4.4 PRINCIPAIS PERSPECTIVAS PARA O ÓLEO DIESEL

4.4.1 INTRODUÇÃO

Tradicionalmente, considera-se o óleo diesel como sendo mais barato que a gasolina. As razões são várias. No final do século passado, como comentado no capítulo 3, as frações mais pesadas que o querosene eram destinadas à produção de gás para a iluminação, como substituto do gás do carvão. Aos poucos essas frações foram substituindo o carvão em outras indústrias mais com o nome de óleo combustível, mas sempre associando-se o conceito de que os produtos mais pesados do querosene seriam produtos residuais do refino do petróleo.

Outra razão, também comentada, é o fato de muitos países praticarem uma política de captação de significativos recursos, via impostos, da gasolina, fazendo o preço ao consumidor ser superior ao de outros derivados.

Mas, já neste final de século, face ao aumento do consumo do óleo diesel e exigências de qualidade, há uma tendência de encarecimento do produto, provavelmente ultrapassando o preço comercial da gasolina, no mercado "spot".

A seguir comenta-se estas tendências.

4.29 O país importa também gás natural e energia elétrica.

4.30 A primeira unidade industrial de produção de MTBE entrou em operação em 1973 - o Complexo Petroquímico Anil - , em Ravenna, Itália.

4.4.2 O AUMENTO DA DEMANDA DO ÓLEO DIESEL

Os motores do ciclo diesel são mais eficientes que os similares a gasolina. Este fato é observado teoricamente pela análise dos ciclos termodinâmicos desses motores e também experimentalmente.

Segundo um estudo comparativo entre dois motores Mercedes Bens (MAY, 1988), tem-se os resultados apresentados na tabela 4.22.

TABELA 4.22
COMPARAÇÃO DE MOTORES A DIESEL E A GASOLINA, DE UM AUTOMÓVEL

PARÂMETRO	DIESEL	GASOLINA
CILINDRADA	2500 cm ³	2300 cm ³
CONSUMO EM MILHAS POR GALÃO	32	22
POTÊNCIA, EM KW	69	90
EMIÇÃO DE PARTICULADOS EM g/milha	0,2	--
EMIÇÃO DE NO _x , em g/milha	0,8	0,2
EMIÇÃO DE MONÓXIDO DE CARBONO	1,0	1,5
EMIÇÃO DE HIDROCARBONETO NÃO QUEIMADO	0,14	0,16

Fonte : (MAY, 1988)

O maior rendimento é explicado pelas maiores taxas de compressão, que trabalham os motores diesel, em relação aos motores do ciclo otto.

Um outro grande atrativo dos motores de ciclo diesel é uma menor emissão de alguns poluentes, em relação a motores similares do ciclo otto, notadamente do monóxido do carbono, como pode ser observado na tabela 4.22. O consumo de óleo diesel tende a aumentar no mundo devido: ao crescimento do transporte de cargas, em caminhões ou ferrovias; ao crescimento do transporte coletivo em ônibus, em detrimento do transporte individual, via automóveis; e, finalmente, devido ao efeito desilização da frota de automóveis, notadamente na Europa.

O crescimento do consumo de derivados médios do petróleo pode ser avaliado pelas estimativas apresentadas na tabela 4.23.

TABELA 4.23
CRESCIMENTO DO CONSUMO DE MÉDIOS, EM %

ANO	1973	2005
CONSUMO TOTAL 10 ⁶ BBL/DIA (DE DERIVADOS DE PETRÓLEO)	48	54
CONSUMO DE MÉDIOS	28	39
CONSUMO DE GASOLINAS + GLP	37	40
CONSUMO DE PESADOS (COMBUSTÍVEL + ASFALTO)	34	22

Fonte: (MAY, 1988)

4.4.3 PERSPECTIVA DE QUALIDADE

De um modo geral, pode-se dizer que a qualidade atual, e a futura, do óleo diesel é, e será, determinada principalmente pela problemática do meio ambiente. A seguir comenta-se as principais tendências, notadamente as ditadas pela Agência de Proteção Ambiental - EPA, dos EUA.

Nos EUA há uma forte tendência de ser adotado para todo o país a atual especificação máxima de enxofre no óleo diesel do estado da Califórnia, que é de 0.05% em peso. A atual especificação é de 0.1%.

Outra tendência bastante forte é a limitação do teor de aromáticos em 20% no máximo. A média americana atual é de 26%.

Pretende-se limitar o teor de enxofre para diminuir a formação de SO_2 nas cidades e diminuir o problema de chuva ácida. A questão dos aromáticos está ligada principalmente há diminuição das emissões de hidrocarbonetos não queimados, particulados e monóxido de carbono, que aumentam proporcionalmente ao teor dos aromáticos.

É importante observar que o atendimento destas duas especificações tenderá a aumentar o custo de produção de óleo diesel, além de ser um forte limitante para um aumento de produção deste derivado. Segundo um estudo feito pela Associação Nacional dos Refinadores de Petróleo, nos EUA haverá um aumento médio nos custos de produção de 6,54 US\$/bbl.

Outra tendência, que reforça a afirmação anterior é a do índice de cetanos. Há uma série de artigos mostrando que face ao aumento da demanda do óleo diesel, outras correntes do refino de petróleo deverão ser desviadas para o diesel, provocando uma queda no índice de cetanos. Este deverá ser mantido principalmente pelo uso de aditivos. Segundo estudos da CONCAWE, os países do mercado comum europeu deverão consumir 30000 ton de aditivos de cetanos no ano 2000, ao custo de 45 milhões de US\$/ano (XAVIER, 1987).

4.4.4 CONCLUSÃO

Há claras tendências do aumento da demanda mundial de óleo diesel. Por outro lado, os requisitos de qualidade do produto estão aumentando. A junção destes dois vetores é a tendência do aumento do preço do produto.

4.5 PERSPECTIVAS PARA O ÓLEO DIESEL NO BRASIL

4.5.1 ASPECTOS GERAIS

Se há uma tendência acentuada de aumento do consumo de óleo diesel a nível mundial, esta tendência é particularmente acentuada nos países em desenvolvimento como o Brasil.

Uma maneira de se explicar esta tendência, é através da forte correlação, observada em quase todos os países, entre o Produto Interno Bruto - PIB e o consumo de óleo diesel. Como a economia dos países do terceiro mundo precisa crescer bastante para se resolver os graves problemas sociais existentes, o consumo de óleo diesel deverá acompanhar este aumento.

O caso brasileiro é mais complicado, já que o consumo global de derivados de petróleo não deverá crescer muito, devido à existência de alternativas para diversos derivados, mas o consumo de óleo diesel e GLP deverá sofrer aumentos significativos. Este crescimento relativo do óleo diesel é um problema de difícil equacionamento, como será discutido a seguir.

4.5.2 DIFICULDADES FUTURAS NO ATENDIMENTO DA DEMANDA DE ÓLEO DIESEL

Como apresentado no capítulo 2, a principal fonte de produção do diesel são as unidades de destilação, que separam as diversas frações já existentes no petróleo. Ou seja, a produção de diesel depende principalmente da quantidade de diesel já existente no petróleo.

No caso de um petróleo típico da bacia de Campos, o diesel produzido na destilação é cerca de a 38% . Isto é possível porque a especificação brasileira permite a incorporação de produtos pesados, da faixa de destilação do gasóleo e produtos leves, da faixa de destilação da nafta. Caso fosse adotada uma especificação semelhante a americana para o óleo diesel, reduzindo-se a incorporação de leves e pesados, a sua produção estaria limitada a 30%, para este tipo de petróleo.

A incorporação de frações mais leves ao óleo diesel é discutível em termos de qualidade. Estas frações aumentam a perda de hidrocarbonetos para a atmosfera. Alerta-se também para a pequena lubrificação que estas frações permitem ao óleo diesel na bomba injetora. Por outro lado, são frações de certa forma nobres, são claras e de pouco teor de contaminantes, como o enxofre.

O Brasil até 1979 seguiu a especificação internacional de ponto de fugor superior a 60 . Após, o ponto de fugor ser liberado, e as "frações leves" passaram a ser incorporadas ao óleo diesel.

O aumento da produção de óleo diesel nas unidades de destilação foi obtido também pela incorporação de frações mais pesadas. A especificação internacional tende a limitar o ponto final em 350 ASTM^{4.31}. A especificação brasileira até 1979 limitava o ponto 90% em 360°C. Face à falta de óleo diesel, a especificação foi alterada para 85% limitada a 370°C ASTM.

O aumento da produção do óleo diesel através da incorporação de frações mais pesadas têm uma série de

4.31 As curvas de destilações PEV e a ASTM expressam métodos diferentes, e os resultados são diferentes para um mesmo produto, como explicado no capítulo 2.

consequências em termos de qualidade. Resulta-se o maior tamanho das moléculas incorporadas, que queimam de forma mais lenta. Segundo um estudo sobre a qualidade do óleo diesel produzido na França e na Itália, comparando diversos tipos de óleo diesel, a elevação de cerca de 15°C no ponto final do óleo diesel acarreta o aumento de emissão de poluentes, mostrado na tabela 4.24.

TABELA 4.24

AUMENTO NA EMISSÃO DE POLUENTES, FACE A ELEVAÇÃO DO PONTO FINAL DO ÓLEO DIESEL - PONTO 95% VARIANDO DE 370 A 383°C 4.32

EMISSIONES DE POLUENTES	VARIAÇÃO
EMISSION DE FUMO NEGRO	+ 6,0%
EMISSION DE HIDROCARBONETOS	+ 20,0%
EMISSION DE NO _x	+ 10,0%
EMISSION DE AROMÁTICOS	+100,0%

Fonte : (GIAVAZZI e TRERÉ, 1984)

Pode-se dizer que, no caso brasileiro não há perspectivas de se aumentar a produção de óleo diesel via incorporação de frações mais pesadas. Ao contrário, em termos de emissão de poluentes há a perspectiva de se diminuir a incorporação de frações mais pesadas.

É importante se entender que as frações pesadas que não foram incorporadas ao óleo diesel serão produzidas como gasóleo. O maior uso do gasóleo a nível mundial e no Brasil também, é servir de carga para as unidades de craqueamento catalítico, onde obtém-se os rendimentos expressos na tabela 4.25 .

TABELA 4.25

RENDIMENTOS DA UNIDADE DE CRAQUEAMENTO CATALÍTICO

PRODUTO	RENDIMENTO EM % VOLUMÉTRICA
GLP	25 a 28
GASOLINA (NAFTA CRAQUEADA)	54 a 58
ÓLEO LEVE DE RECICLO - OLR	12 a 14
ÓLEO DECANTADO - OD	11 a 13
RENDIMENTO VOLUMÉTRICO (EM RELAÇÃO A CARGA)	103 a 105

Assim, pode-se entender que uma redução no ponto final do óleo diesel implicará no aumento da produção da gasolina.

Outra maneira de se produzir mais óleo diesel é pela incorporação de outras correntes. O produto atualmente mais utilizado com esta finalidade é o OLR, usado normalmente na produção de óleo combustível, como diluente de resíduo de vácuo.

4.32 Apesar de se referir ao ponto final, normalmente utiliza-se o ponto 90% ou 95%, devido à maior dificuldade e erros na determinação do ponto final.

O OLR é um produto instável quimicamente, de alto teor de enxofre, e tende a formar goma^{4.33}, prejudicando a qualidade do óleo diesel. Além disto, o OLR é constituído basicamente por produtos aromáticos. A tendência atual é limitar os componentes aromáticos do óleo diesel em 20%, em volume.

Outro problema do óleo diesel é o seu alto teor de enxofre. Atualmente a especificação brasileira limita o enxofre em 1,3 % em peso. Esta especificação bastante elevada se mostra, quando comparada com as especificações dos países desenvolvidos, que tendem a limitar o enxofre em torno de 0,05%.

As unidades de hidrotratamento, estabilizam produtos como o OLR e o gasóleo leve de coque, e reduzem o seu teor de enxofre. Estas unidades tendem a ser construídas no Brasil, apesar do seus altos custos de investimento e de operação. No entanto, elas não reduzem significativamente o teor de aromáticos.

Outra possibilidade de produzir óleo diesel é através de unidades de hidrocrackeamento, cuja carga é o gasóleo. Produzem cerca de 70% de óleo diesel e com alta qualidade. No entanto o custo é elevadíssimo, havendo poucas unidades deste tipo no mundo.

4.5.3 O ÓLEO DIESEL BRASILEIRO - CONCLUSÃO

A qualidade do óleo diesel brasileiro, a semelhança de outros países em desenvolvimento, é criticável se comparada à qualidade do óleo diesel produzida na Europa e Estados Unidos. A principal causa disto é a alta percentagem de óleo diesel produzida em relação ao petróleo.

Provavelmente no futuro próximo a qualidade do óleo diesel deverá ser melhorada. Se isto ocorrer pela diminuição do ponto final, diminuirá a produção de óleo diesel e aumentará a de gasolina.

Em futuro próximo deverão ser construídas unidades de hidrotratamento, para diminuir o teor de enxofre e permitir a adição de outras correntes ao óleo diesel, como o OLR e o gasóleo leve de coque. Mas o custo de produção de óleo diesel aumentará.

Unidades mais modernas como o hidrocrackeamento, que seriam mais adaptadas ao perfil de consumo brasileiro, com excedentes de gasolina e falta de óleo diesel, não deverão ser construídas no futuro próximo, face aos altos investimentos e a atual carência de recursos financeiros.

4.33 Várias moléculas se agrupam formando um polímero que entope filtros, e pode prejudicar o funcionamento da bomba injetora.

4.6 OUTROS PRODUTOS

4.6.1 O GLP

O consumo atual de GLP no Brasil se situa em torno de 120.000 BPD, cerca de 11% do total de petróleo processado. É um percentual muito alto, praticamente impossível de ser atendido via esquema de refino.

A produção do GLP é obtida principalmente nas unidades plantas de gasolina natural. Estas separam do gás natural as frações mais pesadas ou seja o GLP (propanos e butanos) e a gasolina natural, constituída principalmente de pentanos.

Uma outra maneira de se produzir GLP, a mais usual, é nas unidades de craqueamento catalítico, conforme indicado na tabela 4.22. Logo, para o atendimento interno da demanda de GLP seria necessário haver um grande mercado de gasolina. A proporção adequada seria um mercado de gasolina pelo menos duas vezes superior ao do GLP.

Mas de um modo geral na Europa e nos EUA, há relativas sobras de GLP. Até pouco tempo, face ao forte mercado de gasolina praticava-se a "butanização". Hoje, devido as restrições ambientais, a colocação de produtos leves na gasolina vai sendo abandonada, provocando sobras de correntes de butanos.

Por outro lado, vão surgindo unidades, que consomem os butanos, transformando-os em gasolina. É o caso das unidades de Alquilação e de produção de MTBE.

O preço do GLP no mercado internacional é inferior ao da gasolina. Mas o frete encarece o produto. Assim, segundo dados da PETROBRÁS, no período de 1988 a 1990, quando o GLP teve o seu preço reduzido em função do controle do PVR da gasolina, o preço de importação de GLP - CIF em média 90% do preço da gasolina exportada (FOB).

Por outro lado, em períodos de elevação do preço do petróleo, como no início dos anos 80, o GLP tem seu preço bastante alto. Isto ocorre porque os principais países exportadores de GLP o obtêm das plantas de gasolina natural. Caindo a demanda de petróleo cai muito a produção de GLP.

Assim, pode-se dizer que muito provavelmente o Brasil continuará sendo um grande importador de GLP. Este fato é preocupante apenas em situações de "guerras" ou de forte elevação do preço do petróleo.

Uma das alternativas para a importação do GLP seria o direcionamento do gás natural para o setor residencial.

4.6.2 O ÓLEO COMBUSTÍVEL

Há uma tendência mundial de redução do consumo de óleo combustível face a diversos fatores: ressaltam-se: a substituição pelo gás natural, a redução do conteúdo energético de inúmeros produtos e os problemas ambientais criados pelo consumo de óleo combustível.

O óleo combustível é produzido pelas correntes de resíduo de vácuo, resíduo asfáltico e diluentes. Os diluentes são usados para diminuir a viscosidade do produto. Para este fim são usadas correntes de óleo diesel, o OLR e o óleo decantado (OD), e algumas outras correntes como o gasóleo leve de coque^{4.34}.

No resíduo de vácuo estão as frações de maior peso molecular do petróleo, normalmente macro moléculas complexas quimicamente, pois podem apresentar em suas estruturas o enxofre e metais como o níquel e o vanádio. No resíduo de vácuo concentra-se também o sódio, proveniente da água "saída" do poço e também proveniente do uso de soda no processo de refino.

De uma forma geral, pode-se dizer que no resíduo de vácuo concentram-se a maioria dos contaminantes do petróleo. No resíduo asfáltico^{4.35}, essa concentração é ainda maior, porque é resultante da separação de corrente de resíduo de vácuo em duas correntes, uma com maior teor de metais, destinada ao craqueamento catalítico - o ODES, óleo desasfaltado - a outra mais concentrada - o resíduo asfáltico.

Pelo fato do resíduo de vácuo concentrar as impurezas, ocasionadas o óleo combustível produzido também terá os contaminantes, apenas um pouco menos concentrado, devido aos diluentes.

Esses contaminantes provocam uma série de problemas como, por exemplo, corrosão nas partes mais frias das caldeiras, devido aos gases do enxofre; os metais como o sódio e o vanádio reagem com as ligas metálicas das caldeiras. Estas também provocam problemas ambientais, face aos gases de combustão conterem óxidos de enxofre e de nitrogênio.

As emissões de gases de enxofre e de nitrogênio, têm limitado o uso dos óleos combustíveis nas indústrias e nas usinas termelétricas.

A tendência atual é a substituição do carvão e do óleo combustível por gás natural, quando disponível, ou o tratamento dos gases de combustão. Apesar do alto custo da lavagem alcalina dos gases, esta solução ainda é mais barata do que o uso de unidades de hidrodessulfurização para resíduo de vácuo (Ellis, 1987).

É importante se analisar esta tendência de demanda decrescente de óleo combustível. Ela ocorre mais fortemente quando o preço do petróleo sobe, abrindo a competitividade com outras fontes de energia. Isto ocorreu no Brasil na década passada, em relação a madeira, carvão, bagaço de cana e a própria energia elétrica.

A tabela 4.25 quantifica esta tendência mundial de diminuição do consumo de óleo combustível.

4.34 É uma das correntes da unidade de coque, na faixa de destilação do óleo diesel.

4.35 O resíduo asfáltico é produzido nas unidades de Desasfaltação a Propano. O termo resíduo no refino significa o produto mais pesado da unidade em questão. Por exemplo o resíduo atmosférico é o produto de fundo da destilação atmosférica, e o resíduo de vácuo é o produto de fundo de destilação a vácuo.

TABELA 4.25
CONSUMO DE ÓLEO COMBUSTÍVEL NOS PAÍSES DA COMUNIDADE EUROPEIA

ANO	CONSUMO 10 ⁶ t/ano
1980	148
1983	92
2000	47 a 67*

* O estudo citado faz uma série de cenários; mostra-se o consumo máximo e mínimo estimado.

Fonte : (ELLIS, 1987)

Para atender a esta mudança do perfil de consumo, o esquema de refino deve ser alterado, pela entrada em operação de unidades de fundo de barril, que diminuam a produção de resíduo de vácuo e aumentem a produção de outros produtos.

Atualmente usa-se três tipos destas unidades. As unidades de viscorredução são usadas principalmente na Europa. Diminuem a viscosidade do resíduo de vácuo e assim menos diluente é necessário, diminuindo a produção de óleo combustível.

Outro tipo de unidade é a desasfaltação a propano. Tem como característica o aumento da produção de gasolina. A outra unidade é a de coqueamento retardado, que produz coque de petróleo, usado na fabricação de eletrodos. De um modo geral, os outros produtos da unidade de Coque (GLP, Nafta, gasóleo leve e pesado) devem ser usados para a produção de outros derivados com muitos cuidados em relação a qualidade.

Em síntese, pode-se afirmar que há uma tendência clara, a nível mundial, de queda de consumo do óleo combustível. O ajuste será feito pela introdução de unidades de fundo de barril e unidades de hidrotratamento.

BIBLIOGRAFIA

AVELLA, F. Stato di Manutenzione, Trafico Urbano ed Emissioni Inquinanti di Ventura a Benzina. La Rivista dei Combustibili - Settembre de 1989.

BRITISH PETROLEUM, BP Statistical Review of World Energy. The Britisch Petroleum Company , 1988

CHURCH, F.M. & SHEPHARD F.E. Study of Atmospheric Chemistry London Research Station, 1990. API 3633381.

DRUMMOND, J. et alii. Measurements of NO₂, O₃, PAN, HNO₃, H₂O₂ and H₂CO During the Southern California - Air Quality Study. In 82^o Annual Meeting Anaheim California. Air and Wast Management Association - 1989.

ELLIS, R.J. et alii . Market forces will make European residual oil desulfurization investment improbable. Oil & Gas Journal p.56-61, 24 de Agosto, 1987.

GARIBALDI, P. Vinti Anni di Attività in Italia Sugli Ossigenati Quall Componenti Della Benzina. La Rivista Dei Combustibili - vol. XVIII- p.12-18 , Jan. 1989.

GIAVAZZI, R. & TRERÉ, R.- I Problemi Dei Gasoli per Autotrazione del Proximo Futuro. La Rivista Dei Combustibili , p.63-78 , Mar-April, 1984 .

HIPPE L. & FRANK, V. Automobile Fuel Economy Princenton University, 1987.

KIRCHOFF, V. et alii. Um filtro Ameaçado . Ciência Hoje Jan/Fev. 1987.

LOOK, L.M. New Transportation Fuels : The Challenges Ahead. Oil & Gas Journal, p.72-76, 13 Nov. 1989.

MAY, H. et alii - Automotive Diesel Fuel - Future Supply and Demand. In World Petroleum Congress , Houston , Texas 1987. API 342919.

OIL & GAS JOURNAL . Economy, Environment Energy Link Cited. Oil & Gas Journal, p 38-39 - 19 Nov. 1990.

OIL & GAS JOURNAL - Tough Air Quality Goals Spur Quest for Tranportation Fuel Changes - Oil & Gas Journal p. 33-41 18 Jun. 1990.

PETROBRAS - A PETROBRÁS e o PROCONVE - relatório de 1991.

SANTOS, M.A.E & FONTES, S.A.M. PETROBRÁS e o Alcool Combustível- Boletim Técnico da PETROBRÁS, p.151-159, Abril- Set. 1987 .

SAPRE, A.R. Properties, Performance and Emissions of Medium Concentration Methanol Gasoline Blends in a Single-Cylinder, Spark-Ignition Engine. SAE Technical Report Series ,891573 -1988.

TANNER, R.L. et alii. Atmospheric Chemistry of Aldehydes : Enchanged Peroxyacetyl Nitrate Formation From Ethanol , Fuled Vehicular Emissions. Environmental SCI Technology, vol22 N.9, 1988.

TORRES, R. Gasoline's Lead Redution in Mexico City - It's Effects in the Air Quality. SAE Technical Paper Series - 890583 - Março, 1988

UNZELMAN, G. (1989). Ethers Have Good Gasoline Blending Attributes. Oil & Gas Journal , p.33-37, 10 April, 1989.

UNZELMAN, G. (1990). The Impact of The Clean Air Act on Motor Fuel: on Analysis of Reformulated Fuels and Oxygenates, 1990-2000. Information Resources Inc-1990 , Washington, EUA.

XAVIER, M. et alii. Fouling Of Automotive Diesel Injectors. Test Procedure - Influence of Composition Of Diesel Oil And Aditives. SAE Technical Paper Series - 872118 -1987

WALSH, M. P. Global Trends in Motor Vehicle Pollution Control. SAE Technical Paper Series - 890581 - Março ,1989

WANG, M.D. Alternative Fuels: Potential and Practical Considerations. In 819 Annual Meeting of APCA. Dallas, Texas, 1988

WORLD RESOURCES - World Resources 1990-91 -
World Resources Institute for Environment and International
Institute for Environment and Development in collaboration with
the United Nations Environment Programme. Basic Books, New York
1990.

CAPÍTULO V

MODELOS DE DEMANDA

5.1 PRINCIPAIS METODOLOGIAS

5.1.1 INTRODUÇÃO

O objetivo desta seção é fazer uma rápida revisão das principais metodologias utilizadas na previsão das demandas de combustíveis, principalmente dos utilizados no transporte rodoviário, mostrando os principais conceitos envolvidos e como os métodos de projeção evoluíram.

5.1.2 MÉTODOS ECONÔMETRICOS

As primeiras estimativas da demanda de combustíveis foram feitas com base no crescimento do Produto Interno Bruto - PIB, considerado o maior parâmetro econômico de um país, que, de certa forma, explicaria as principais mudanças nas demandas dos diversos insumos.

Uma certa sofisticação desse método consiste em se considerar, além do PIB, o preço do combustível, tendo como premissa o fato de um maior preço inibir o consumo.

As regressões econométricas (5.1) e (5.2), resumem estas duas abordagens.

$$D = a.X^{\alpha} \quad (5.1)$$

$$D = a.X^{\alpha}.P^B \quad (5.2)$$

onde D : demanda do combustível ;

X : uma variável econômica, normalmente o PIB ;

P : preço do combustível ;

a : constante a ser estimada estatisticamente ;

α e B : elasticidades PIB e preço respectivamente, também estimadas estatisticamente.

Um estudo usando esta metodologia (JANNUZZI, 1986), foi aplicado ao consumo de gasolina constatando um bom ajuste destes modelos para o período 1960-1973, para o Brasil. O mesmo estudo chegou a conclusão que estes modelos não explicariam bem a demanda no período de 1973 a 1982 .

Interessante também é o estudo " A Demanda de Gasolina e óleo Diesel no Brasil no Período 1969-82 " (TORRES, 1986), que aplicando o modelo resumido pela equação (5.2), para alguns estados do Brasil, e considerando a demanda trimestral e a arrecadação de ICM^{5.1}, como parâmetros econômicos, concluiu que :

5.1 Imposto sobre a circulação de mercadorias.

(i) A demanda de gasolina no período estudado, estava correlacionado à renda disponível no estado (ICM) e ao preço da gasolina.

(ii) A demanda de óleo diesel não se correlacionou ao preço, apenas à renda disponível.

Um outro tipo de enfoque possível é o estudo das elasticidades preço de curto e longo prazo. O modelo para este caso pode ser resumido pela seguinte expressão :

$$\ln D_t = \ln a + (\ln P_t)^b + (\ln D_{t-1})^c \quad (5.3)$$

onde : P_t e D_t são o preço e a demanda do combustível analisado ;
a, b e c as constantes a serem estimadas estatisticamente ;
O índice t representa o ano estudado. Por exemplo, D_t representa a demanda no ano t e D_{t-1} a demanda no ano anterior .

No modelo a b corresponde a elasticidade/preço de longo prazo e $b/(1-c)$ é a elasticidade/preço de curto prazo.

Kouris apresenta um interessante exemplo de aplicação desta metodologia. Ele analisa o consumo de gasolina no período de 1956 a 1981, nos EUA (KOURIS, 1983). Os objetivos básicos do estudo foram a verificação da quilometragem específica, em km/l e o efeito do preço da gasolina na distância percorrida pelos carros anualmente.

Para o efeito do preço sobre a quilometragem específica, obteve-se uma elasticidade de curto prazo de -0,16, e de longo prazo de -0,64. Estes parâmetros indicam que um aumento no preço da gasolina faz os motoristas procurarem maneiras mais econômicas de dirigir no próprio ano, e uma preferência por modelos de carros mais econômicos a longo prazo.

No cálculo do efeito do preço da gasolina sobre a quilometragem percorrida, considerou-se também o gasto anual do setor privado, que de certa forma, indica a renda disponível. Obteve-se por ajuste (5.4).

$$\ln KM_t - \ln F_t = a + b \cdot \ln R_t + c \cdot \ln P_t + d \left(\frac{\ln KM_{t-1}}{\ln F_{t-1}} \right) \quad (5.4)$$

onde : KM = distância percorrida por ano ;
F = número de veículos em circulação movidos a gasolina ;
R = gasto do setor privado
a, b, c, d = constantes identificadas estatisticamente.

Para o período estudado de 1956 a 1981, o modelo determinou uma elasticidade de -0,13, isto é dobrando o preço do combustível, há uma redução de 13% nas distâncias percorridas.

5.1.3 MODELOS DE USO FINAL

Os modelos econométricos, de um modo geral, passaram a encontrar dificuldade para explicar o consumo de combustíveis, particularmente o da gasolina, no transporte rodoviário.

Isto ocorreu devido a uma série de razões. Destaca-se o maior uso do óleo diesel no Brasil, e de certa forma nos EUA, em veículos leves, como camionetas, e veículos pesados como ônibus. Na Europa houve um incremento considerável dos automóveis à diesel. Além da competição com o óleo diesel, após o primeiro choque do petróleo, houve uma preocupação em se aumentar a quilometragem específica dos veículos. No Brasil ainda ocorreu o surgimento do carro a álcool.

Passou-se então a estudar os modelos de uso final, nos quais, necessita-se conhecer detalhadamente os equipamentos responsáveis pelo consumo de combustíveis. No caso do setor rodoviário, necessita-se conhecer a frota dos veículos, para poder prever o consumo dos combustíveis utilizados.

Para outros combustíveis notadamente o óleo combustível, os modelos de uso final são bastante utilizados. Isto porque na maioria dos países, há grandes empresas responsáveis por grande parte do consumo. A demanda total é estimada com base nas demandas projetadas por esses grandes consumidores.

5.1.3.1 UM MODELO DE USO FINAL PARA PREVISÃO DO CONSUMO DE GASOLINA NOS EUA

Com base em fartas estatísticas existentes, nos EUA Tony e Houser desenvolveram um modelo de uso final para projetar a demanda de gasolina naquele país (TONY, 1983).

A tabela 5.1 indica a distribuição do uso de gasolina nos EUA em 1982. Observa-se a esperada predominância dos automóveis e a considerável participação dos caminhões.

TABELA 5.1
DISTRIBUIÇÃO DO CONSUMO DE GASOLINA NOS EUA em 1982

tipo de utilização	% do consumo
Carros de passageiros	69,2
Caminhões	26,7
Ônibus	0,4
Motos	0,4
Outros	3,3

Fonte : (TONY & HOUSER, 1983)

No modelo, assume-se duas hipóteses básicas. A primeira é o valor adotado para a distância média percorrida anualmente por veículo (Kv), 9800 milhas por ano ou 15400 km/ano. Esta estimativa é baseada em estatísticas dos últimos 40 anos, que mostraram que a média de distância percorrida tem se situado entre 9000 e 10000 milhas por ano.

A outra hipótese é relativa ao número de veículos em circulação. Em 1982 haviam 840 carros por 1000 habitantes^{5.2}. Para o ano 2000 o modelo admite 830 carros/1000 habitantes.

5.2 Pessoas entre 18 e 65 anos.

Além destas hipóteses básicas, no artigo também há uma análise do consumo específico da frota (CE). Admite-se que haverá uma forte tendência em direção a veículos mais econômicos.

As seguintes expressões resumem este modelo :

$$F_g = (830/1000).M - F_d \quad (5.5)$$

$$D_g = F_g.K_v.1/CE \quad (5.6)$$

onde: K_v = distância anual média percorrida por veículo a gasolina ;
 F_g, F_d = número de veículos em circulação, à gasolina e à diesel respectivamente no ano considerado ;
 M = número de pessoas habilitadas;
 CE = quilometragem específica da frota, em km/l.

O trabalho assume também que haverá uma forte "dieselização" da frota de caminhões. Por outro lado, o consumo de gasolina para outros usos, incluindo motos, variará de acordo com o PIB.

5.1.3.2 UMA APLICAÇÃO NO BRASIL.

Uma aplicação interessante desta abordagem no Brasil é propiciada pelo " Modelo de Análise e Previsão de Consumo de Combustíveis - MAPCC (LIMA,1986).

Como o modelo pretende explicar o consumo de gasolina e álcool, procura-se estudar a frota de veículos que se utilizam desses combustíveis. Para se prever as frotas futuras, no modelo se correlaciona os dados de venda de veículos da ANFAVEA com os dados do IBGE referentes aos veículos em circulação. Obtêm-se os resultados expressos na tabela 5.2.

TABELA 5.2
 ÍNDICE ANUAL DE SOBREVIVÊNCIA E CONSUMO ANUAL POR VEÍCULO

Idade do veículo (anos)	Índice de sobrevivência	consumo (m ³)	
		Gasolina	Álcool
0 - 1	0,95	1,86	2,96
1 - 2	0,94	1,61	2,87
2 - 3	0,93	1,56	2,78
3 - 4	0,92	1,52	2,69
4 - 5	0,91	1,46	2,60
5 - 6	0,90	1,41	2,52
6 - 7	0,89	1,36	2,43
7 - 8	0,88	1,31	2,34
8 - 9	0,87	1,26	2,25
9 - 10	0,86	1,21	2,16
mais de 10	0,35	1,17	2,07

Uma outra hipótese importante do modelo é a consideração do consumo de combustível por veículo, como dependente da sua idade. Assim, um veículo novo a gasolina consumiria 1660 litros/ano e percorreria 17430 km, com uma

quilometragem específica de 10,50 km/l. Um veículo a gasolina com mais de dez anos de fabricação consumiria em torno de 1170 litros de combustível por ano e percorreria 12285 km, com a mesma quilometragem específica. Hipóteses semelhantes foram assumidas para o álcool.

Assim, para cada ano são conhecidos o número de veículos em circulação, a idade de cada veículo e o consumo unitário. Pode-se, desta forma, calcular o consumo de álcool e gasolina em qualquer ano, com base nas vendas anuais de novos veículos. A seguinte equação resume o modelo.

$$D_t = N_t \cdot CV_t + N_{t-1} \cdot CV_{t-1} + \dots + N_{t-10} \cdot CV_{t-10} \quad (5.7)$$

onde : N é o número de veículos em circulação, fabricados no ano indicado pelo índice t ;
CV é o consumo anual por veículo, indicado na tabela 5.2;
D_t é a demanda no ano t.

5.1.4 MODELOS MISTOS.

Os modelos econométricos, na projeção da demanda energética, principalmente no setor de transporte, possuem a limitação de não captarem as mudanças tecnológicas, muito rápidas no setor transporte, que além do aumento de eficiência dos veículos, ocorre ainda a troca de combustíveis, como por exemplo a dieselização da frota de caminhões nos EUA, e o caso do álcool e gasolina no Brasil. Os modelos econométricos não conseguem explicar estas grandes mudanças.

Os modelos de uso final por outro lado, têm dificuldade na captura de forma objetiva, das mudanças macroeconômicas de uma nação ou região, como por exemplo, uma política recessiva que reduza a moeda em circulação, ou uma política de redução de consumo via elevação de preços reais dos combustíveis.

Assim, surgiram os modelos mistos : econométrico-uso final, que procuram explicar o consumo de combustíveis através do conhecimento técnico-econômico, dos equipamentos, no caso do setor transporte, das frotas e de fatores macroeconômicos.

5.1.4.1 UM MODELO MISTO PARA O ÓLEO COMBUSTÍVEL.

Como comentado anteriormente o consumo de óleo combustível, normalmente é estimado com base na projeção de consumo das grandes empresas. Norambuena desenvolveu um modelo para ser usado para os pequenos consumidores para o Chile^{5.3}. (NORAMBUENA, 1990) O modelo procura captar a competição entre o óleo combustível, o carvão e o diesel, usado industrialmente.

5.3.3. Apparently the model developed would complete the demand information obtained from the large consumers. The author presents his model with the title: Modelo do óleo combustível para os consumidores menores.

Além disto o modelo introduz um termo t , que indicaria o tempo em anos decorrido do início do período estudado. Este termo em t normalmente, de forma bastante simplificada indicará as tendências. Por exemplo no caso do óleo combustível, há claros indícios de diminuição de demanda, por várias razões, destacando-se : a tendência da indústria de produzir produtos de menor intensidade energética : com o avanço tecnológico, os equipamentos e processos industriais tendem a se tornarem mais eficientes. Um modelo de uso final puro, para captar este efeito teria de dispor de fartas estatísticas sobre os equipamentos industriais usados no país, bem como as características técnicas dos mesmos. O uso do termo t consegue captar estes efeitos de maneira muito simples.

O modelo pode ser resumido pela equação (5.8).

$$\ln D_{oc} = -0,213 \cdot \ln(P_{oc}/P_{c-1}) - 0,258 \cdot \ln(P_{oc}/P_{od-1}) + 0,568 \cdot \ln PIB_{ind} - 0,120 \cdot \ln t \quad (5.8)$$

onde: P são os preços dos energéticos índices oc, c e od respectivamente, óleo combustível, carvão e óleo diesel ;

PIB_{ind} indica o PIB do setor industrial.

t indica o tempo em anos, no caso 1960 $t=1$.

5.1.4.2 UM MODELO MISTO PARA O SETOR TRANSPORTE

A seguir comenta-se um modelo misto que acopla dados de frota com o efeito do preço dos energéticos. Uma das hipóteses básicas deste modelo (ALVIN & FERREIRA, 1989) escolhido a guisa de exemplificação, é considerar a distância anual percorrida como uma função da idade do veículo. Para tanto utiliza-se o seguinte fator de correção :

$$A_k = h + (1-h)/(1 + e^{-(a \cdot i + b)}) \quad (5.9)$$

onde : A_k = fator de correção da idade do veículo;

i = idade do veículo, em anos;

h = parâmetro indicativo do decaimento da quilometragem. No modelo adotou-se $h=0,40$;

e = base dos logaritmo neperiano, $= 2,718$;

a, b = constantes ajustadas no modelo.^{5.4}

O modelo procura captar o efeito preço criando um fator de ajuste B_p , multiplicativo da quilometragem calculada com o auxílio da equação (5.9) :

$$B_p = (P_t/P_0)^B \quad (5.10)$$

^{5.4} $h = 0,40$ significa que um veículo de idade i percorre 40% da distância percorrida anualmente por um veículo novo.

onde : P_0 = preço do combustível no ano de referência;
 P_t = preço do combustível no ano t ^{5.5}
 B = elasticidade preço.

A distância percorrida, ou quilometragem por veículo, K_v é calculada, portanto, pela equação (5.11).

$$K_{v_t} = K_{v_0} \cdot A_k \cdot B_p \quad (5.11)$$

onde! K_{v_0} é a quilometragem padrão para um veículo novo. No modelo adota-se $K_{v_0} = 19460$ km/ano

O modelo assume que um veículo comercial leve percorre 1,5 vezes a distância percorrida por um automóvel, e um comercial pesado, 1,25 vezes esta distância. As motos não são consideradas no modelo.

Na estimativa do consumo de gasolina e álcool considera-se alguns dados de quilometragem específica calculado, com base em informações publicadas na revista Quatro Rodas, Transporte Moderno e Guia do Consumidor do STI/MIC. Admite-se também que os modelos à álcool, possuem uma quilometragem específica 20% inferior ao dos modelos à gasolina equivalentes.

Com base nos parâmetros comentados acima, o modelo calcula o consumo de combustíveis de acordo com a equação (5.11).

É interessante se observar que os modelos de projeção de demanda que utilizam a hipótese de consumo de combustível, ou distância percorrida, decrescente de acordo com a idade do veículo, introduzem, de certa forma, uma variável sócio-econômica. Isto porque se supõe que normalmente no Brasil, só pessoas de um razoável poder aquisitivo ou empresas é que podem conseguir um automóvel novo. Depois de um certo período, um ou dois anos tipicamente, o carro será vendido para outra pessoa de menor poder aquisitivo, que utilizarão menos o carro.

5.1.4.3 MODELO MISTO PARA O SETOR TRANSPORTE COM BASE NO PIB, PREÇO DO COMBUSTÍVEL E FROTA

A seguir comenta-se um modelo de uso misto que usa como variáveis exploratórias, o PIB, o preço da gasolina e parâmetros da frota, para projetar a demanda de álcool hidratado e gasolina.

O modelo considerado (BUONFIGLIO, 1988) leva em conta todos os veículos movidos à álcool e gasolina, com exceção das motos. Com base em dados publicados pela revista Transporte Moderno, e admitindo-se 60% do percurso em estradas e 40% em tráfego urbano, estima-se a quilometragem específica QE, para a frota em cada ano. Para tanto admite-se uma vida média de 15 anos para os veículos e, com os dados de vendas de novos automóveis, calcula-se a QE média e a idade média da frota. Os valores obtidos estão indicados na tabela 5.3.

5.5 No modelo o preço ao consumidor do litro da gasolina = 1,25. preço do litro do álcool.

TABELA 5.3
QUILOMETRAGEM ESPECÍFICA(QE) E IDADE MÉDIA DAS FROTAS

ANO	QE (KM/L) DAS FROTAS		IDADE MÉDIA (ANOS) FROTA A GASOLINA
	A GASOLINA	A ALCOOL	
1977	10,58	-	4,79
1978	10,61	-	4,90
1979	10,63	-	5,06
1980	10,74	8,72	5,44
1981	10,81	8,89	6,03
1982	10,95	9,06	6,65
1983	11,03	9,13	7,31
1984	11,14	9,18	8,23
1985	11,15	9,34	8,68

Fonte : (BUONFIGLIO, 1988)

Com base nas QE's calculadas, para os veículos a álcool e a gasolina, o modelo determina a distância percorrida pela frota total. Esta distância calculada com o auxílio da equação (5.12), é correlacionada ao PIB per capita^{5.6} e ao preço da gasolina, através da regressão (5.13).

$$KM = F_G \cdot QE_G \cdot CA_G + F_A \cdot QE_A \cdot CA_A \quad (5.12)$$

onde : KM = quilometragem total anual ;
F = frota ;
CA = consumo anual de combustível ; e
G,A= índices representando a gasolina e o álcool respectivamente.

$$\ln KM = a + \ln PIBc^{\alpha} - \ln(P_G)^B \quad (5.13)$$

onde : PIBc = PIB per capita ;
P_G = o preço da gasolina
a, α e B = constantes a serem ajustadas na regressão .

A quilometragem anual média dos automóveis à gasolina é projetada com o auxílio da regressão (5.14), abaixo. A quilometragem total percorrida por estes veículos, é calculada evidentemente, multiplicando-se os valores obtidos por (5.14) pela projeção correspondente da frota.

$$\ln Km_G = a + \ln(PIBc/P_G)^{\alpha} - \ln IM^B \quad (5.14)$$

onde Km_G = quilometragem anual média por veículo à gasolina ;
ln = logarítmico ;
IM = idade média da frota à gasolina ; e
a, α e B = constantes determinadas pelo modelo.

5.6 Entende-se que o PIB per capita represente bem o conceito de "renda per capita" disponível para o setor privado.

Logo, os dados de , PIB, população , preço da gasolina, frota e vendas de novos carros à gasolina e quilometragem específica desses carros permitem que se estimem os parâmetros QE e a demanda de gasolina. Subtraindo-se KM_G de KM e dividindo-se o resultado pela quilometragem específica dos carros à álcool, chega-se a demanda de combustível desses carros.

5.2 MODELO SUGERIDO PARA PROJETAR AS DEMANDAS DE ÁLCOOL E GASOLINA

5.2.1 COMENTÁRIOS INICIAIS

Uma questão importante e ainda mal estudada no país é a evolução da frota. Que hipóteses devem ser assumidas? Por exemplo, no caso americano considera-se o índice 840 carros por 1000 habitantes habilitados . Sabe-se que o crescimento da frota se dá pela diferença entre os novos carros vendidos no mercado interno e os carros sucateados. Entretanto, se desconhecem as relações entre o nível de sucateamento e os seus condicionantes . Espera-se por exemplo, que o preço elevado do veículo, diminua as taxas de sucateamento , mas não há estatísticas a respeito. Todos os modelos de projeção de demanda de álcool e gasolina , feitos para o Brasil , admitem um índice de sobrevivência anual , ou uma vida média, mas são sempre aproximações que carecem de levantamentos estatísticos e não estão relacionados a dados econômicos. A própria frota brasileira de automóveis, nos últimos anos tem sido objeto de uma sensível incerteza , com a paralisação das atividades do GEIPOT/ Ex Ministério dos Transportes.

Em resumo, para a implantação de um modelo bem ajustado, para prever o consumo de gasolina e álcool do país, são necessárias estatísticas mais confiáveis sobre :

- (i) A evolução real da frota^{5.7}.
- (ii) Estatísticas sobre o sucateamento de veículos.
- (iii) Dados sobre outros consumos , particularmente em motos.
- (iiii) Estimativas sobre o uso de GLP em veículos com motores do ciclo Otto.
- (iiiii) Dados sobre os veículos que mudaram de combustível^{5.8}.

5.2.2 HIPÓTESES E DADOS ASSUMIDOS PARA O MODELO

A proposta de um modelo bem embasado para a projeção das demandas de gasolina e álcool, se depara conforme já foi mencionado, com a carência e falta de precisão de muitos dados. Há, por exemplo, grandes imprecisões nas estimativas correntes das frotas de veículos à álcool e à gasolina.

5.7 Até 1985 há dados relativamente confiáveis, publicados pelo GEIPOT/Ministério dos Transportes.

5.8 Principalmente de gasolina para álcool e vice versa. Sabe-se também que existem casos de veículos originalmente do ciclo otto convertidos para motores à diesel.

Desta forma , no modelo proposto, foi necessário assumir algumas hipóteses . A mais importante é sobre a vida média dos veículos, tomada como 14 anos. Como a frota de veículos à álcool ainda não tem esta idade, adotou-se um "fator de sucateamento" de 2% ao ano para os veículos construídos após 1984 e 3% ao ano para os veículos construídos até esta data. Séries históricas de 1970 a 1989 das principais grandezas empregadas no modelo estão indicadas nas tabelas 5.4 A 5.8 .

TABELA 5.4

SÉRIES HISTÓRICAS DE DADOS PARA O MODELO PROPOSTO					
ANO	TOTAL VEÍCULOS EM CIRCULAÇÃO (NVC)	Nº TOTAL DE VEÍCULOS VENDIDOS POR ANO (NVV)	PREÇO DO CARRO EM SALÁRIO MÍNIMO (PAUT)	PIB POPULAÇÃO US\$X10	DO BRASIL
1970	2266612	343670	67,8	109.386	94,82
1971	2723246	437744	58,6	122.550	97,16
1972	3270102	516047	55,8	136.161	99,60
1973	3861904	613928	53,7	154.625	102,15
1974	4552038	747352	48,9	167.381	104,60
1975	5242187	772122	51,3	175.951	107,20
1976	5938907	827261	43,5	193.845	109,90
1977	6397562	772268	39,1	203.402	112,50
1978	7114881	919981	39,1	213.430	115,90
1979	7858919	961505	41,3	227.879	118,50
1980	8558448	977697	42,6	249.003	121,30
1981	8873355	821666	45,4	238.022	124,10
1982	9175016	715743	56,5	239.545	126,90
1983	9427504	772555	54,4	231.233	129,80
1984	9513486	705594	58,2	243.049	132,70
1985	9658930	759467	48,5	263.320	135,60
1986	9119915	815976	52,6	283.279	138,50
1987	9449013	502496	80,4	293.506	141,40
1988	9196674	589146	102,5	292.684	144,40
1989	8920122	603107	108,9	301.464	147,50
1990	8746731	653870		309.060	150,44

Fonte : (ANFAVEA,1986/89 : IBGE,1988)

TABELA 5.5

SÉRIES HISTÓRICAS DE DADOS PARA O MODELO PROPOSTO				
ANO	PIB PER CAPITA-US\$ (PIBc)	VEÍCULOS POR HABITANTE (NVCH)	QUILOMETRAGEM TOTAL DA FROTA (KM _T)	PREÇO EM KCAL/L ÁLCOOL/GASOLINA (PA/PG)
1970	1153,6	41,84	-	
1971	1261,3	35,68	-	
1972	1363,0	30,46	-	
1973	1513,7	26,53	-	
1974	1600,2	22,98	-	
1975	1641,3	20,45	-	
1976	1763,8	18,50	-	
1977	1796,8	17,70	141453,09	
1978	1841,5	16,30	155051,82	
1979	1923,0	15,08	161153,80	
1980	2052,8	14,17	145731,54	0,81

TABELA 5.5 - CONTINUAÇÃO

ANO	SÉRIES HISTÓRICAS DE DADOS PARA O MODELO PROPOSTO			
	PIB PER CAPITA-US\$ (PIBc)	VEÍCULOS POR HABITANTE (NVCH)	QUILOMETRAGEM TOTAL DA FROTA (KM _T)	PREÇO EM KCAL/L ÁLCOOL/GASOLINA (PA/PG)
1981	1918,0	19,98	138096,08	0,85
1982	1887,6	13,83	146267,10	0,81
1983	1781,5	13,77	140393,65	0,88
1984	1831,6	13,95	145146,06	0,93
1985	1941,9	14,04	159165,14	0,97
1986	2045,3	15,19	186747,56	0,97
1987	2075,7	14,97	194376,80	1,00
1988	2026,6	15,70	199704,40	1,01
1989	2043,0	16,31	218559,74	1,01
1990	2054,4	17,20	229221,18	1,17

TABELA 5.6

DADOS SOBRE A FROTA BRASILEIRA DE AUTOMÓVEIS A GASOLINA

ANO	FROTA	QUILOMETRAGEM		CONSUMO EM 1000 M ³ /ANO			PREÇO DA GASOLINA US\$/BBL
		ESPECÍFICA EM KM/L (QE)	IDADE MÉDIA (IM)	ÁLCOOL ANIDRO	GASOLINA + ANIDRO	GASOLINA	
1977	8397562	10,03	5,36	639	13464	14103	98,03
1978	7114881	10,17	5,50	1504	13742	15246	89,90
1979	7858919	10,30	5,70	2219	13426	15646	91,70
1980	8298825	10,38	6,08	2253	11430	13886	130,90
1981	8449336	10,41	6,85	1146	10942	12088	128,70
1982	8584551	10,57	7,17	2021	10409	12430	114,40
1983	8359642	10,45	7,86	2197	8700	10897	105,70
1984	8019898	10,49	8,54	2082	7812	9894	100,00
1985	7581411	10,67	9,17	2121	7621	9742	87,20
1986	7088145	10,88	9,73	2442	8595	11037	82,80
1987	6393563	11,27	10,33	2136	7536	9672	102,90
1988	5688074	11,65	10,76	1968	7290	9256	75,50
1989	5150283	11,90	10,76	1575	8270	9845	60,45
1990	4897010	12,03	9,21	1238	10015	11253	56,72

TABELA 5.7

DADOS SOBRE A FROTA BRASILEIRA DE AUTOMÓVEIS A ÁLCOOL HIDRATADO

ANO	FROTA	QUILOMETRAGEM		CONSUMO DE ÁLCOOL		QUILOMETRAGEM
		ESPECÍFICA EM KM/L (QE)	TOTAL 10 ³ M ³ /ANO	POR VEÍCULO M ³ /ANO	POR VEÍCULO KM/ANO	
1980	259623	8,63	429	1,65	14259	
1981	423969	8,80	1329	3,28	28894	
1982	590465	8,89	1674	2,84	25204	
1983	1061862	8,99	2950	2,78	24975	
1984	1493538	9,04	4575	3,06	27691	
1985	2077518	9,07	6088	2,93	26579	
1986	2691770	9,13	8397	3,12	28481	
1987	3055450	9,16	8919	2,92	26738	
1988	3510600	9,17	9760	2,78	25511	
1989	3769839	9,18	11068	2,94	26989	
1990	3814274	9,19	10212	2,68	24629	

TABELA 5.8
QUILOMETRAGEM DAS FROTAS A ALCOOL, GASOLINA E TOTAL
QUILOMETRAGEM EM 10⁶KM/ANO

	VEÍCULOS A GASOLINA	VEÍCULOS A ALCOOL	TOTAL DA FROTA
1977	141453,09	-	141453,09
1978	155051,82	-	155051,82
1979	161153,80	-	161153,80
1980	142029,54	3702,00	145731,54
1981	125836,08	12250,00	138086,08
1982	131385,10	14882,00	146267,10
1983	113873,65	26520,00	140393,65
1984	103788,06	41358,00	145146,06
1985	103947,14	55218,00	159165,14
1986	120082,56	76665,00	196747,56
1987	112678,80	81698,00	194376,80
1988	110146,40	89558,00	199704,40
1989	117155,50	101804,24	218759,72
1990	135373,59	93848,22	229221,81

5.2.3 PRINCIPAIS CORELAÇÕES DO MODELO

5.2.3.1 PROJEÇÃO DA QUANTIDADE DE VEÍCULOS EM CIRCULAÇÃO

No modelo proposto o número total de veículos em circulação é projetado através da regressão múltipla abaixo, equação (5.15)

$$NVT = -9,583 \times 10^6 - 5392.PAUT + 16354,22.POP + 7931,15.PIBc \quad (5.15)$$

onde: NVT = número total de veículos em circulação
PAUT= preço do automóvel mais barato em salários mínimos

POP = população brasileira em milhões.

PIBc = PIB per capita em US\$/ano .

Parâmetros do ajuste : $R^2 = 87,54$ $F = 37,49$

As tabelas 5.9 e 5.10, a seguir, apresentam projeções do número total de automóveis em 1990,1995 e 2000, obtidas utilizando-se (5.15) , para três valores de PIB per capita, e para dois preços do automóvel mais barato.

TABELA 5.9
PROJEÇÃO DO Nº DE VEÍCULOS EM CIRCULAÇÃO - PAUT = 100

ANO	POPULAÇÃO EM MILHÕES	PIBc EM US\$/ANO		
		1800	2000	2500
1990	150,367	7.613.000	9.199.235	13.614.810
1995	165,083	7.859.768	9.440.000	13.405.577
2000	179,486	8.089.319	9.675.550	13.841.127

TABELA 5.10
PROJEÇÃO DO Nº DE VEÍCULOS EM CIRCULAÇÃO - PAUT = 70

ANO	POPULAÇÃO EM MILHÕES	PIBc EM US\$/ANO		
		1800	2000	2500
1990	150,387	7.774.767	9.360.997	13.326.572
1995	165,083	8.051.081	9.601.762	13.567.332
2000	179,486	8.251.081	9.837.372	13.802.889

Observa-se o efeito dominante do PIB per capita nas projeções da frota de automóveis, em comparação com as demais variáveis explanatórias de (5.15).

5.2.3.2 PROJEÇÃO DO Nº DE VEÍCULOS VENDIDOS NO MERCADO INTERNO POR ANO.

As vendas de novos automóveis, no mercado interno, são projetadas no modelo com auxílio da equação (5.16).

$$\ln VNA = 7,773174 + 1,069301 \ln PIBc - 8,392 PAUT \quad (5.16)$$

onde : VNA = quantidade de veículos de passageiros e utilitários vendidos por ano.

Parâmetros do ajuste : $R^2=80,2$ $F=34,35$

A tabela 5.11 apresenta projeções de VNA, para os valores de PIBc e PAUT apresentados nas tabelas 5.9 e 5.10.

TABELA 5.11
PROJEÇÃO DO Nº TOTAL DE VEÍCULOS VENDIDOS
NO MERCADO INTERNO POR ANO

PIBc US\$/ANO	PAUT EM SALÁRIOS MÍNIMOS		
	100	70	60
1800	491372	606134	661500
2000	551212	678417	742059
2200	610523	751718	822277
2300	640664	787773	801737
2500	699754	861238	942030

Comparando-se os resultados das projeções obtidas, através de (5.15) e (5.16), pelas combinações de valores de PIBc e PAUT, detecta-se uma incoerência envolvendo a hipótese de vida média de 14 anos para os automóveis. Adotando-se esta hipótese, para estes valores de PIBc e PAUT entre 1990 e 1995 haveria um sucateamento significativo dos veículos à gasolina, que tiveram um pico de vendas entre 1975 e 1980. Para se atingir os níveis de frota previstos pela equação (5.15), seriam necessários vendas substancialmente superiores, para o período 1990-1995, que as previstas por (5.16). A principal causa desta discrepância é a

incapacidade das regressões ajustadas captarem este pico de vendas, seguido de uma forte recessão.

Note-se, que mantida a hipótese acima para a vida média dos veículos, um baixo nível de vendas no mercado interno^{5.9}, redundará em uma redução do número de veículos em circulação.

5.2.3.3 PROJEÇÃO DA QUILOMETRAGEM ANUAL

A quilometragem percorrida por toda a frota de automóveis com motores do ciclo Otto, KM_{total} é projetada utilizando-se da regressão múltipla expressa na equação (5.17)

$$\ln KM_{total} = 2,758355 \ln PIBc - 0,307266 \ln PGAS \quad (5.17)$$

sendo $PGAS$ = preço da gasolina, em $US\$/m^3$,
Parâmetros do ajuste : $R^2=99,99$ $F=278000$

5.2.3.4 PROJEÇÃO DA QUILOMETRAGEM MÉDIA DOS CARROS A GASOLINA

A equação (5.18), é uma regressão múltipla onde as variações da quilometragem média anual dos automóveis a gasolina, KV , são "explicadas", pela relação dos preços em conteúdo energético, do álcool e gasolina, PA/PG , PIB per capita, $PIBc$, idade média da frota, (IM) , preço da gasolina em $US\$/m^3$. Na série histórica até 1979 quando não havia álcool hidratado no mercado de combustíveis automotores, $DIA=0$, significando para o modelo não existir a concorrência do álcool para a gasolina.

$$KV = 12230 + 4467 \cdot PIBc / PGAS - 3431 \cdot 01 / (PA/PG) - 950,7 \cdot IM \quad (5.18)$$

Parâmetros do ajuste : $R^2=99,03$; $F=341$

Esta regressão foi a mais difícil de ajustar. Em outros estudos, o consumo de gasolina por veículo, se mostrou decrescente ao longo da última década. A idade média da frota à gasolina foi o parâmetro encontrado para explicar o decaimento da quilometragem média desses veículos. Mas a partir de 1986, apesar da idade média da frota continuar aumentando, a quilometragem calculada também passou a aumentar.

Após 1986, face à então esperada falta de álcool, o preço deste energético começou a aumentar em relação ao da gasolina. Assim escolheu-se o preço relativo dos dois produtos para se explicar o aumento do consumo da gasolina. No entanto PA/PG também pode ser entendida como uma variável "proxí" em relação à confiança do consumidor no PROÁLCOL. É provável que muitos veículos a álcool, tenham sido transformados para consumir gasolina neste período, assim como nos primeiros anos da década de 80, muitos carros a gasolina foram adaptados para o álcool

5.9 Abaixo de 500.000 unidades por ano.

hidratado^{5.10}. Apenas por rigor matemático usou-se a variável muda D1, que assume o valor zero, até 1979 e 1,00 a partir de 1980. Indicando que todo o termo de D1 assume o valor zero.

A seguir, na tabela 5.12, estão indicados algumas simulações empregando a equação (5.18).

TABELA 5.12
DISTÂNCIA MÉDIA PERCORRIDA PELOS VEÍCULOS A GASOLINA EM KM/ANO

PREÇO US\$/M ³	PA/PG = 1.0			PA/PG = 1.2		
	PIBc -US\$/M ³			PIBc -US\$/M ³		
	1800	2000	2500	1800	2000	2500
400	19393	21617	23779	19995	22250	27813
500	15373	17160	21627	15976	18509	22230
600	12693	14182	17904	13296	14785	18507
700	10778	12054	15335	11381	12657	15848
800	9342	10964	13251	9945	11570	13854
1000	7332	8226	10451	7935	8829	11062

A tabela 5.12 foi calculada para IM=10 note-se a grande influência na quilometragem média dos automóveis à gasolina, do aumento do preço da gasolina. A relação de preços álcool-gasolina têm uma pequena influência, a curto prazo.

5.2.4 COMENTÁRIOS SOBRE O MODELO APRESENTADO

Apesar do modelo proposto explicar o consumo de álcool e gasolina, permitindo a identificação dos principais parâmetros do consumo desses combustíveis, como é o caso do par PIB per capita, e preço da gasolina/álcool, pode-se perceber a complexidade de fatores que influenciam esses consumos.

Para ilustrar este comentário, construiu-se a figura 5.1, mostrando na forma de um fluxograma os principais parâmetros ligados ao consumo da gasolina e do álcool.

Face a experiência pioneira do Brasil de introduzir um novo tipo de combustível para veículos do ciclo otto, e hoje existirem duas frotas similares, ou seja, utilizadas para as mesmas finalidades, pode-se dizer que um modelo completo para o caso brasileiro, exige uma complexidade de informações ímpar, e paradoxalmente há falta de estatísticas.

5.10 No início dos anos 80, face ao menor preço do álcool hidratado, muitas empresas se especializaram na transformação de veículos que originalmente consumiam gasolina para álcool. Na ocasião também apareceram muitas transformações clandestinas e de baixo custo. Muitos destes carros transformados, e os primeiros modelos de carros à álcool que talvez não agradaram ao consumidor, passaram paulatinamente a serem transformados para utilizarem gasolina, provavelmente por ocasião da manutenção, ou 'retífica' do motor. Apareceram também uma série de receitas de transformações baratas de motores originalmente à álcool para consumirem gasolina.

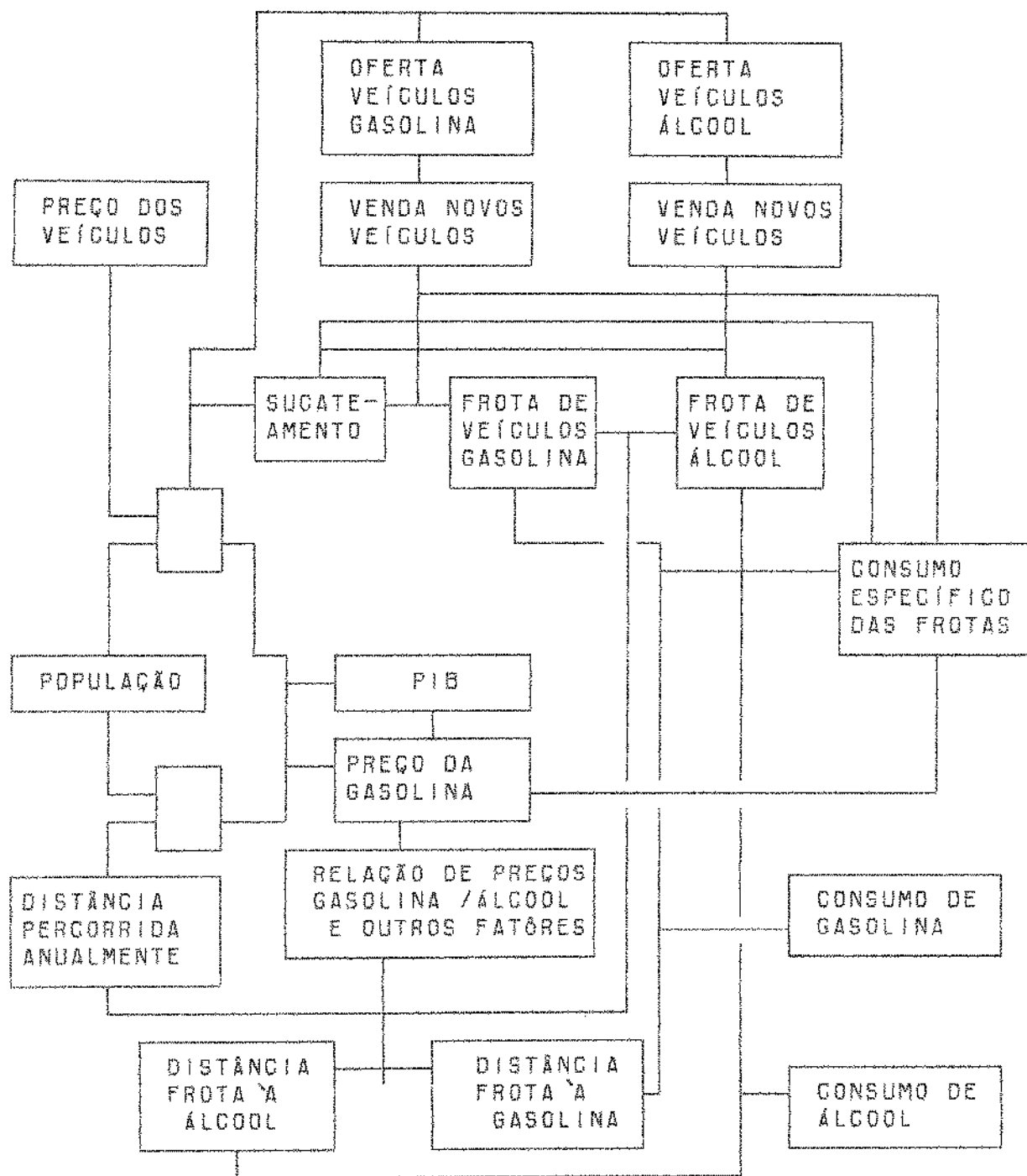


FIGURA 5.1
INTER-RELAÇÕES DOS PRINCIPAIS PARÂMETROS DO CONSUMO DE
ALCOOL E GASOLINA

Um aspecto importante que pode ser observado na figura 5.1 é a importância e o número de veículos em circulação, por tipo de combustível, que depende do número de veículos novos colocados no mercado. Atualmente não é controlado os percentuais de cada tipo vendido. Isto é determinado pelas montadoras, ou seja, a demanda futura não está sendo planejada.

5.2.5 PROJEÇÕES DE DEMANDA DE ÁLCOOL E GASOLINA

O objetivo desta seção é fazer algumas projeções da demanda de álcool e gasolina, utilizando-se o modelo proposto. Estas projeções serão utilizadas no capítulo 9 ao se analisar os cenários futuros.

As variáveis mais importantes do modelo, são a venda de veículos novos no mercado interno e a distribuição entre veículos à álcool e gasolina, que como comentado tem ocorrido de forma aleatória. A venda de veículos é determinada pelo preço do automóvel em salários mínimos (PAUT), e o PIB per capita. Na realidade, como o salário mínimo tem caído em valores reais, e o automóvel aumentado o valor real, observa-se, como será comentado ao final desta seção, que a frota brasileira é pequena, se comparada com o uso. Desta forma, há tendência de aumento de venda no mercado interno, acima do previsto por (5.16). A seguir estima-se a venda de veículos, pela média de PAUT de 60 e 100, conforme mostrado na tabela 5.13.

TABELA 5.13
VENDA ANUAL DE AUTOMÓVEIS

PAUT	PIBh	2000	2200
60		751718	827277
100		551218	610523
MÉDIA		651468	718900

A seguir explora-se o efeito da distribuição de venda de veículos por tipo de combustível, nas frotas futuras, de 1995. Os resultados estão mostrados na tabela 5.14.

TABELA 5.14
FROTA DE VEÍCULOS A GASOLINA ESTIMADA PARA 1995

PIBc US\$	PREÇO US\$/M ³	PORCENTAGEM DE VENDA DE CARROS A GASOLINA			
		10	50	70	90
2000	60	2869138	4202573	4954291	5706009
2000	100	2598883	3701308	4252520	4803732
MÉDIA		2634010	3951940	4603405	5254870
2200	60	2734413	4378970	5201247	6023524
2200	100	2628538	3849588	4460109	5070631
MÉDIA		2681475	4206039	4830678	5547077
IDADE MÉDIA DA FROTA-IM		8,41	8,18	5,60	5,03

Outro parâmetro a ser fixado é o consumo específico, CE, principalmente para os veículos à gasolina observa-se na frota de veículos novos, valores bastante diferentes, por exemplo dos pequenos carros como o FIAT-Mile em relação aos modelos de maior potência. A seguir mostra-se como pode variar o CE da frota de 1995, dependendo dos CES dos carros vendidos anualmente. Admite-se que os modelos mais econômicos predominarão, o CE de 12,98 é admitido, implicando no CE de 11,73 para a frota de 1995, conforme mostrado na tabela 5.15.

TABELA 5.15
CONSUMOS ESPECÍFICOS CE EM KM/L

PIBc US\$	PAUT	CE MÉDIO ANUAL DE 1991 A 1995		
		13,61	12,98	12,24
2000	60	12,17	11,80	11,38
2000	100	11,90	11,58	11,22
2200	60	12,24	11,86	11,42
2200	100	11,98	11,66	11,27
MÉDIA		12,08	11,73	11,32

Similarmente poderia se construir uma tabela semelhante para os veículos à álcool. No entanto, o consumo dos veículos não tem variado tanto, como pode ser observado na tabela 5.7. Assim será adotado para a frota de 1995 de veículos à álcool, CE = 9,25. Para a frota de 1995 de veículos à gasolina CE=11,73.

Com base nas hipóteses anteriores de venda de veículos, construiu-se a tabela 5.16, para os veículos à álcool.

TABELA 5.16
FROTA DE VEÍCULOS À ALCOOL ESTIMADA PARA 1995

PIBh	PAUT	PORCENTAGEM DE VENDA DE VEÍCULOS A ALCOOL			
		90	50	30	10
2000	60	6480208	5021875	4292708	3563542
2000	100	5769141	4699789	4165123	3630458
MÉDIA		6124674	4860832	4228915	3597000
2200	60	7560051	5566029	4981322	4396616
2200	100	5979479	4795064	4208856	3610649
MÉDIA		6769765	5180546	4595089	4003632
MÉDIA GERAL		6447219	5020689	4410500	3800311

A seguir com base nas hipótese de preço de petróleo de 20,00 e 30,00 US\$/bbl, e PIBc variando de 1800,00 a 2200,00 US\$/ano, mostra-se na tabela 5.17, projeções de consumo de gasolina e álcool motor. Os preços para a gasolina foram tomados com base nos comentários da tabela 6.16.

TABELA 5.17
PROJEÇÕES DA DEMANDA DE ÁLCOOL E GASOLINA PARA 1995

PREÇO DO PETRÓLEO US\$/BBL	20,00		30,00	
PIB PER CAPITA US\$/ANO	2000	2200	1800	2000
PREÇO DA GASOLINA US\$/M ³	470	540	570	680
PREÇO RELATIVO - PA/PG	1,15	1,15	1,10	1,00
PREÇO DO ÁLCOOL	375	430	435	472
QUILOMETRAGEM 10 ⁹ KM/ANO VEÍCULOS PASSAGEIROS (5.17)	192,47	239,89	135,65	171,82
VENDA DE VEÍCULOS A GASOLINA 70%				
FROTA DE VEÍCULOS A GASOLINA	4.603.405			
IDADE MÉDIA	5,60			
CE DA FROTA	11,73			
FROTA DE VEÍCULOS A ÁLCOOL	4.410.500			
CE DA FROTA	9,25			
KM-VEÍCULOS GASOLINA (5.18)	22931	22131	17894*	16614
KM-VEÍCULOS A ÁLCOOL	19710	23100	14978*	21610
CONSUMO GASOLINA TOTAL BPD	154787	149387	100902	112146
" ÁLCOOL ANIDRO "	34071	32865	22198	24672
" GASOLINA PURA	120716	116522	78704	87473
" ÁLCOOL HIDRATADO	161327	189074	122595	176878
VENDA DE VEÍCULOS A GASOLINA 50 %				
FROTA DE VEÍCULOS A GASOLINA	4.206.039			
IDADE MÉDIA	6,18			
CE DA FROTA	11,73			
FROTA DE VEÍCULOS A ÁLCOOL	4.806.832			
CE DA FROTA	9,25			
KM-VEÍCULOS GASOLINA (5.18)	22380	21580	17342	16062
KM-VEÍCULOS ÁLCOOL	22299	31028*	13048	21694
CONSUMO GASOLINA TOTAL BPD	138362	133416	106545	99302
" ÁLCOOL ANIDRO "	30439	29351	23439	21846
" GASOLINA PURA	107923	104065	83106	77456
" ÁLCOOL HIDRATADO	198549	276267	116177	194372

TABELA 5.17 - CONTINUAÇÃO
PROJEÇÕES DA DEMANDA DE ÁLCOOL E GASOLINA PARA 1995

PREÇO DO PETRÓLEO US\$/BBL	20,00		30,00	
PIB PER CAPITA US\$/ANO	2000	2200	1800	2000
PREÇO DA GASOLINA US\$/M ³	470	540	570	680
PREÇO RELATIVO - PA/PG	1,15	1,15	1,10	1,00
PREÇO DO ÁLCOOL	375	430	435	472
QUILOMETRAGEM 10 ⁹ KM/ANO VEÍCULOS PASSAGEIROS (5.17)	192,47	239,89	135,65	171,82
VENDA DE VEÍCULOS A GASOLINA 90 %				
FROTA DE VEÍCULOS A GASOLINA	5.254.870			
IDADE MÉDIA	5,03			
CE DA FROTA	11,73			
FROTA DE VEÍCULOS A ÁLCOOL	3.597.000			
CE DA FROTA	9,25			
KM-VEÍCULOS GASOLINA (5.18)	23473	22673	18435	17155
KM-VEÍCULOS ÁLCOOL	19227	33575*	10601*	22743
CONSUMO GASOLINA TOTAL BPD	181307	175127	142392	132505
" ÁLCOOL ANIDRO "	39887	38528	31326	29151
" GASOLINA PURA "	141420	136599	111066	103354
" ÁLCOOL HIDRATADO	128912	225111	71078	152485

* Valores muito altos ou baixos.

Das projeções indicadas pelo modelo, os seguintes pontos devem ser comentados :

(i) As quilometragens médias estimadas para os veículos são bastante altas, se comparadas aos próprios dados históricos do Brasil, como comentado na seção 5.1.3.2, e por exemplo, com os valores assumidos para os EUA, como na seção 5.1.3.1.

(ii) Ou seja a frota de veículos está pequena. Provavelmente a idade média deve estar aumentando face ao aumento do preço do veículo novo.

(iii) Pode-se entender que há uma demanda reprimida de veículos novos, que será ativada pelo aumento da renda média, ou diminuição do preço dos veículos novos.

(iiii) Principalmente os veículos a gasolina estão tornando-se mais econômicos. Este efeito é menor para os veículos à álcool. Este fato aliado, ao não crescimento das frotas, é responsável pelo pequeno aumento do consumo de combustível do ciclo otto verificado nos últimos anos.

5.3 MODELO PROPOSTO PARA PROJETAR A DEMANDA DE ÓLEO DIESEL

5.3.1 COMENTÁRIOS INICIAIS

Para se " explicar " o consumo de diesel, pode-se estudar um modelo econométrico puro, relacionando o consumo do diesel ao PIB. Sem dúvida, o energético que mais se correlaciona ao crescimento do PIB. Porém um modelo assim simples, traz muitas limitações na projeção da demanda. O consumo de óleo diesel está relacionado principalmente aos seguintes setores da economia : agrícola, transporte rodoviário, ferroviário, navegação, industrial e geração de energia.

O consumo rodoviário e agrícola são os de maior consumo, e mais facilmente correlacionados a parâmetros econômicos. Os demais consumos são bastante variáveis, por exemplo em ano de seca aumenta o uso de diesel para geração de energia elétrica. O mesmo pode não ocorrer já no ano seguinte.

No setor ferroviário, observa-se também variações no consumo de diesel, mas de difícil correlação a fatores macro-econômicos.

O setor de maior consumo, ou seja o setor de transporte rodoviário, pode ser estudado por um modelo misto, no entanto é necessário conhecer diversos parâmetros da frota, principalmente quanto ao tipo de caminhões utilizados^{5.11} correlacionada a estatísticas de tonelage de carga transportada, dados sobre transporte de passageiros urbanos e inter municipais, que normalmente são correlacionados ao PIB.

No nosso caso, como não se obteve uma quantidade suficiente de dados para montar um modelo mais completo, principalmente quanto a dados de frota, propôs-se um modelo relativamente simplificado, mas que permite uma série de observações quanto ao consumo de óleo diesel.

5.3.2 HIPÓTESES E DADOS ASSUMIDOS PELO MODELO

A seguir, nas tabelas 5.18, 5.19 e 5.20 apresenta-se uma série de dados utilizados no modelo proposta e nas conclusões sobre o consumo de óleo diesel.

5.11 Para este tipo de modelagem é desejável dispor de estatísticas sobre a evolução da frota quanto ao tipo de caminhões. Observa-se nitidamente duas tendências. A primeira é de cada vez se utilizar de caminhões de maior capacidade de carga. Estes por sua vez a cada ano incorporam melhorias tecnológicas que permitem a diminuição do consumo específico.

TABELA 5.18

CONSUMO SETORIAL E TOTAL DE ÓLEO DIESEL EM 1000 M³/ANO

ANO	TOTAL	AGRÍCOLA	INDUSTRIAL	GERAÇÃO E. ELÉTRICA	TRANSPORTE RODOVIÁRIO	OUTROS
1970	8708	458	-	226	4844	1213
1971	7424	488	-	197	5580	-
1972	8503	560	-	214	6409	-
1973	9494	1092	395	218	6730	1672
1974	10527	1208	396	222	7354	1965
1975	11759	1342	417	237	8458	1981
1976	13605	1551	471	192	9955	3179
1977	14629	1763	473	178	10866	2000
1978	15946	1790	486	218	12044	2112
1979	18262	2200	472	338	12716	2346
1980	18321	2588	445	491	13304	2429
1981	17920	2500	514	540	13084	2336
1982	18399	2609	374	390	13309	2481
1983	18064	2632	323	416	12975	2457
1984	18511	2752	305	411	13384	2375
1985	19693	2894	296	482	14236	2575
1986	21731	3450	315	651	15887	2573
1987	22620	3700	336	1056	16823	2097
1988	23584	3989	370	1075	17586	2109

Fonte : (Ministério das Minas e Energia, 1989)

TABELA 5.19

FATORES ECONÔMICOS RELACIONADOS AO CONSUMO DE DIESEL

ANO	POPULAÇÃO (POP)	PIB TOTAL	EM BILHÕES S\$/ANO INDUSTRIAL	AGRÍCOLA	PREÇO US\$/BBL
1970	93,1	108,78	35,01	11,28	16,00
1971	95,4	121,07	39,61	13,34	20,10
1972	97,8	135,66	44,42	15,01	24,10
1973	100,3	154,62	58,44	18,63	32,30
1974	102,7	168,38	63,12	18,78	34,30
1975	105,3	175,95	66,07	20,03	39,30
1976	107,9	193,84	73,68	20,42	40,50
1977	110,6	209,40	75,78	22,88	46,50
1978	113,3	213,43	79,88	22,18	44,80
1979	116,2	227,88	84,86	23,18	49,80
1980	119,1	249,03	92,90	25,40	50,80
1981	122,0	238,02	83,31	27,31	61,00
1982	125,7	239,54	82,55	27,10	60,70
1983	128,2	231,23	75,65	26,76	61,80
1984	131,4	243,05	80,10	27,57	62,60
1985	135,6	263,32	87,44	30,41	54,70
1986	138,6	283,28	98,46	27,89	40,60
1987	141,4	293,50	99,05	32,09	36,70
1988	144,4	292,68	95,43	31,86	34,5

Fonte : (Ministério das Minas e Energia, 1989)

TABELA 5.20
DADOS DA FROTA DE ÔNIBUS E CAMINHÕES

ANO	VENDAS ANUAIS				FROTAS	
	TOTAL DE CAMINHÕES	CAMINHÕES GASOLINA	VEÍCULOS DIESEL	ÔNIBUS	DIESEL	ÔNIBUS
1955	18063	9957	8106	1904	-	-
1956	18063	9957	8106	1904	-	-
1957	18063	9957	8106	1904	24318	5712
1958	27384	18071	11313	3333	35631	9045
1959	37211	27111	10100	2830	45731	11875
1960	38053	28311	9742	3422	55473	15297
1961	26289	20575	5719	2850	61187	18147
1962	36194	28791	7403	3193	68590	21340
1963	21536	15559	6242	2299	74832	23639
1964	21174	15692	6126	2559	80958	26192
1965	22451	15892	7175	2927	88133	29119
1966	30547	20213	10758	3609	98891	32728
1967	27609	17602	10389	4765	109280	37493
1968	40458	25400	15732	6995	125012	44488
1969	39433	22558	17486	5821	142508	50109
1970	38167	17067	21543	4100	164051	54209
1971	37643	15872	22141	4304	178086	56609
1972	50342	19801	30903	4205	200883	58910
1973	64818	25888	39416	6333	232193	63339
1974	71433	29385	42519	7070	263399	67076
1975	69901	16350	54161	8780	307460	71316
1976	74971	8209	67955	10972	365673	78886
1977	90247	1874	90619	12012	450578	88028
1978	78891	519	82188	11859	525363	96694
1979	78706	1174	92922	11524	612043	105919
1980	81933	583	100424	11532	706341	114888
1981	55938	81	89041	9171	798207	121142
1982	41257	121	83548	8042	860987	125575
1983	34573	206	80505	6575	931891	127385
1984	42884	82	68864	5983	985023	126373
1985	55664	22	79340	7141	1046867	127893
1986	83788	0	95987	9753	1021311	133546
1987	73958	0	84309	9902	1183479	139144
1988	71672	0	81706	14727	1243282	149666
1989	62761	0	71547	11640	1275413	154973

Fonte : (ANFAVEA, 1986/1989 : BRASIL, 1986)

Como hipótese simplificadora adotou-se a vida média para os caminhões e ônibus de 15 anos. Desta forma, com as vendas de veículos no mercado interno, publicados pela ANFAVEA, pode-se estimar as frotas nos respectivos anos.

5.3.3 MODELOS SIMPLIFICADOS E COMENTÁRIOS DE ALGUNS PARÂMETROS DO CONSUMO DE ÓLEO DIESEL

Apresenta-se algumas correlações econométricas do consumo de diesel, para possibilitar a análise de alguns parâmetros.

$$\ln CD_T = \ln PIB^{C1} \quad (5.19)$$

$$\ln CD_T = C2 + \ln PIB^{C3} \quad (5.20)$$

$$\ln CD_T = \ln PIB^{C4} \cdot \ln T^{C5} \quad (5.21)$$

$$\ln CD_T = \ln PIB^{C6} \cdot \ln PREÇO_D^{C7} \quad (5.22)$$

$$\ln CD_T = C8 + C9 \cdot \ln PIB + C10 \cdot \ln PREÇO \quad (5.23)$$

onde $\ln$ = logarítimo natural

CD_T = consumo total de óleo diesel

T = tempo em anos, em 1970 $T=0$

$PREÇO_D$ = preço do óleo diesel

$C1$ a $C10$ = constantes a serem ajustadas pelo modelo

A seguir na tabela 5.21 apresenta-se os principais parâmetros estatísticos da relações anteriores.

TABELA 5.21
PARÂMETROS DAS EQUAÇÕES (5.19) A (5.23)

EQUAÇÃO	R ²	F	COEFICIENTES SÍMBOLO	VALOR	erro	TSTUD.	PROB
(5.19)	99,98	80774	C1	1,798	6/1000	296	0,000
(5.20)	99,32	25000	C2	2,483	0,14	14,4	0,001
			C3	1,339	0,027	50,0	0,000
(5.21)	99,99	68700	C4	1,762	0,002	90,6	0,000
			C5	0,060	0,03	1,8	0,0874
(5.22)	99,98	45200	C6	1,908	0,009	21,76	0,000
			C7	-,156	0,12	-1,242	0,2309
(5.23)	100,00	806000	C8	2,55	0,15	16,7	0,000
			C9	1,296	0,041	31,02	0,000
			C10	+,038	0,032	1,20	0,246

A tabela 5.21 mostra alguns aspectos interessantes quanto ao consumo de óleo diesel. O primeiro ponto a destacar é a grande correlação com o crescimento do PIB, sem dúvida é o energético mais correlacionado ao PIB.

Outro aspecto interessante é observar, como a relação do PIB com o consumo de diesel, variou ao longo do tempo. A

equação (5.21) mostra ao longo das últimas duas décadas, aumentou a dependência do PIB em relação ao óleo diesel. Isto pode ser observado pelo valor de C3, positivo. Esta tendência de aumento da dependência do PIB em relação ao consumo de óleo diesel, não está estatisticamente muito comprovada^{5.12}, indicando apenas uma tendência. Porém como o país é importador de diesel, esta tendência merece um melhor planejamento. Pode-se entender que não está sendo exercida uma política energética direcionada ao menor consumo de diesel. Reforça este comentário os dados da tabela 5.16, onde pode-se observar que na década de 70 era significativo o número de caminhões à gasolina. Na década de 80 praticamente todos os veículos de carga, passaram a ser à óleo diesel.

interessante também é verificar a influência do preço no consumo de diesel. Por (5.22), haveria uma tendência de diminuição de consumo, com a elevação do preço, ou seja é o esperado pela teoria econômica. No entanto a correlação estatística é fraca. Resultado contrário mostra (5.23). A conclusão mais provável é que o preço está tendo pequena influência no consumo de diesel^{5.13}.

5.3.4 MODELO PROPOSTO PARA ESTIMAR A DEMANDA DE DIESEL

Para simplificar o modelo, propõe-se a desagregação do consumo segundo a relação (5.24) :

$$CD_T = 2348 + CD_{AGRI} + CD_{ROD} \quad (5.24)$$

onde: CD_T = consumo total de diesel em 1000 m³/ano ;
 CD_{AGRI} = consumo de diesel no setor agrícola ;
 CD_{ROD} = consumo de diesel no setor rodoviário.

Ou seja, admite-se que o consumo de diesel seja determinado pelo consumo observado no setor agrícola, mais o consumo do setor rodoviário, e um valor constante, no caso 2348, que é a média do consumo dos outros setores da economia. O valor adotado é a média da coluna " outros " da tabela 5.19, cujo desvio padrão é 904.

5.12 Pode-se observar que o erro médio é muito grande, conforme pode ser visto na tabela 5.17, os parâmetros da estatística t student, também indicam isto.

5.13 Esta conclusão é válida apenas para o período estudado. De Janeiro a Setembro de 1992 o óleo diesel aumentou 325%, no mesmo período outros energéticos aumentaram cerca de 230% e o IGP-FGV do período foi 236,71%. Provavelmente a continuidade desta política de maiores aumentos para o diesel em relação a outros energéticos, influenciarão o consumo de diesel.

5.3.4.1 PROJEÇÃO DA DEMANDA DE DIESEL DO SETOR AGRÍCOLA

Para determinar o consumo total de diesel, estima-se o consumo do setor agrícola, pelas equações (5.24) ou (5.25).

$$LCD_{AGRI} = 0,227 + 2,234.LPIBA \quad (5.25)$$

$R^2 = 96,94 \quad F = 560,01$

$$LCD_{AGRI} = -0,012 + 2,417.LPIBA - 0,018 \times LT \quad (5.26)$$

$R^2 = 97,59 \quad F = 324,12$

onde : L = logarítmo de base 10 ;

PIBA = PIB do setor Agrícola em 10^9 US\$/ano

T = tempo em anos em 1970, t = 0

CD_{AGRI} = Consumo de diesel do setor agrícola em $1000m^3$ /ano

As duas equações representam bem o consumo de diesel entre 1970 e 1988. Em (5.26) observa-se um decréscimo de consumo com o tempo, ou devido a incorporação de tecnologia, ou talvez, devido a escolha de culturas de maior valor. A equação (5.26) ajusta melhor os valores observados entre 1970 e 1988. Porém para PIBA superior aos valores históricos superestima o consumo. A equação (5.25), parece ser melhor para PIBA maior que 32^9 US\$.

Apresenta-se a seguir, na tabela 5.22 uma comparação de estimativas de consumo usando-se as duas equações.

TABELA 5.22
COMPARAÇÃO DO CONSUMO ESTIMADO E REAL DE DIESEL NA AGRICULTURA

ANO	PIBA 10^9 US\$	CONSUMO M^3 /ANO	DEMANDAS ESTIMADAS M^3 /ANO		% ERRO	
			(5.24)	(5.25)	(5.24)	(5.25)

1970	11,284	458	378	342	-17,5	-25,3
1975	20,030	1342	1363	1331	0,6	-0,8
1980	25,398	2558	2318	2395	-10,4	-6,3
1985	30,407	2884	3465	3583	17,0	24,2
1988	31,859	3989	3846	3998	3,58	0,2

5.3.4.2 ESTIMATIVA DA DEMANDA DE DIESEL DO SETOR RODOVIÁRIO

O setor rodoviário é o grande responsável pelo consumo de diesel no Brasil. Esta demanda pode ser correlacionada ao PIB e ao número de ônibus em circulação, como mostrado por (5.27). Curiosamente procurou-se correlacionar o consumo de diesel também ao número de caminhões em circulação, mas não se obteve correlação estatisticamente satisfatória. Provavelmente porque o número de caminhões é praticamente explicado pelo crescimento do PIB como mostrado pela equação (5.29). Também o preço do diesel não se mostrou correlacionado ao consumo, fato anteriormente já verificado em relação a demanda total de diesel.

Outra correlação obtida e necessária ao modelo é a estimativa do número de ônibus em circulação explicado pelo crescimento do PIB e da população como mostrado por (5.28).

$$LD_{ROD} = 0,329 + 0,978 LPIB + 0,288 LNUON \quad (5.27)$$

$$R^2 = 99,01 \quad F = 803$$

$$LNUON = 0,873 + 0,474 LPIB + 1,45 LPOP \quad (5.28)$$

$$R^2 = 96,67 \quad F = 232,07$$

$$LNUCA = 4,601 + 5,26 LPIB \quad (5.29)$$

$$R^2 = 95,70 \quad F = 378,4$$

onde: PIB = PIB em bilhões de US\$;
 POP = População do Brasil em milhões ;
 NUON - número de ônibus em circulação ;
 NUCA - número de caminhões em circulação ;
 LD_{ROD} = demanda de diesel do setor rodoviário.

As equações apresentadas definem um modelo simplificado de estimativa de consumo de óleo diesel do setor rodoviário. Estima-se o número de ônibus em circulação, em função das expectativas de crescimento de PIB e população brasileira, utilizando-se (5.27), em seguida com o número de ônibus e com o PIB considerado, projeta-se a demanda de diesel com (5.26). Pode-se observar em (5.28) a forte correlação entre o crescimento da frota de caminhões com o crescimento do PIB.

A seguir na tabela 5.23 mostra-se uma comparação entre o consumo de diesel projetado por este método, e o observado para o setor rodoviário.

TABELA 5.23
 CONSUMO DE DIESEL REAL E O ESTIMADO PARA O SETOR RODOVIÁRIO

ANO	NUON		CONSUMO REAL	CONSUMO PROJETADO		% ERRO	
	REAL	ESTI.		NUON REAL	NUON ESTI	NUON REAL	NUON ESTI
1970	51042	54209	4844	4873	4789	0,6	-1,1
1975	71316	76729	8456	8441	8621	0,2	1,9
1980	114998	103796	13304	12475	12114	-6,2	-8,9
1986	127893	133576	14236	14821	15008	4,1	5,4
1988	154752	149666	17586	17198	17365	-1,3	-2,2

Observações

Consumos expressos em 1000m³/ano.

Estimativas de demanda de diesel baseadas no número de ônibus real e com o número de ônibus projetado por (5.28).

5.3.4.3 PROJEÇÃO DA DEMANDA TOTAL DE DIESEL.

A seguir, na tabela 5.24 apresenta-se uma comparação, entre a demanda de óleo diesel observada em alguns anos e o projetado pelo modelo proposto e pela estimativa apenas do PIB.

TABELA 5.24
COMPARAÇÃO DO CONSUMO PROJETADO COM O OBSERVADO EM 1000M³/ANO

ANO	CONSUMO OBSERVADO	CONSUMO PROJETADO		% ERRO		
		MODELO (5.19)	(5.20)	MODELO (5.19)	(5.20)	

1970	6515	7515	4588	6410	+15,3	-29,6	-1,6
1975	11759	12300	10894	12209	+ 4,6	- 7,3	+3,8
1980	18321	16857	20340	19441	- 8,0	+11,0	+6,1
1985	19693	20813	22492	20953	+ 5,7	+14,2	+4,6
1988	23684	23559	27200	24133	- 0,5	+14,8	+1,9
1989	24090	24210	28849	25006	+ 0,5	+19,7	+3,8
1990	25664	25044	30170	26853	- 2,4	+17,6	-0,7

Pode-se observar na tabela 5.24 a boa concordância da demanda de diesel projetada pelo modelo e a demanda real. Ressalta-se que os anos de 1989/90, são projeções verdadeiras, porque as equações do modelo foram obtidas por dados históricos de 1970 a 1988.

É interessante observar que a equação (5.20), apesar da simplicidade, pode ser utilizada para projeções de demanda. Isto porque o consumo de diesel no Brasil está muito relacionado ao crescimento do PIB.

A equação (5.19) apesar de estatisticamente estar bem ajustada, para valores baixos de PIB, estima demandas menores que as observadas, e para valores altos de PIB estima consumo maiores que os observados. A introdução do termo independente, ou seja a equação (5.20) corrige muito bem estas distorções.

5.4 PROJEÇÃO DE DEMANDA DE ÓLEO COMBUSTÍVEL.

Como já comentado, usualmente estuda-se o consumo de óleo combustível, considerando-se as previsões dos grandes consumidores, como termelétricas, petroquímicas, indústrias de cimento e grandes empresas de um modo geral. Isto é praticado inclusive no Brasil pela PETROBRÁS.

Assim a previsão do consumo de óleo combustível é feita por um modelo de uso final baseado nas estatísticas de previsão de consumo das grandes empresas. Entretanto, é sempre possível fazer uma análise com base nos modelos econométricos, este será o objetivo desta seção.

5.4.1 PRINCIPAIS PARÂMETROS DO CONSUMO DE ÓLEO COMBUSTÍVEL

A seguir apresenta-se na tabela 5.25 os principais parâmetros correlacionados ao uso de óleo combustível.

TABELA 5.25
PRINCIPAIS PARÂMETROS DO CONSUMO DE ÓLEO COMBUSTÍVEL

ANO	PIB 10 ⁹ US\$/ANO	CONSUMO 1000M ³ /ANO	PREÇOS ÓLEO US\$/BBL	E. ELÉTRICA
1970	109,386	8237	2,1	57,0
1971	122,550	9890	3,3	57,0
1972	136,161	10524	4,1	57,8
1973	154,625	11424	7,3	57,8
1974	167,381	12982	7,6	53,1
1975	175,951	13795	8,2	60,1
1976	193,845	15513	9,1	53,7
1977	203,402	16789	9,5	53,2
1978	213,430	17121	9,2	52,2
1979	227,879	17918	11,3	50,3
1980	249,003	17199	20,9	50,0
1981	238,022	13767	27,3	59,4
1982	239,545	11913	24,1	55,1
1983	231,293	9554	26,6	47,9
1984	243,049	9291	27,4	47,3
1985	263,320	9124	25,2	46,3
1986	283,279	9308	18,4	46,9
1987	293,506	10248	17,9	59,2
1988	292,684	10322	14,5	53,6
1989	301,464			
1990	309,060			

FONTE : (Ministério das Minas e Energia, 1988)

Analisando-se os dados da tabela 5.25, observou-se que o PIB não se ajustou ao consumo de óleo. No entanto ao se introduzir um termo relativo ao tempo, obteve-se uma correlação. O preço do óleo, de um modo geral não se correlacionou bem. Verificou-se que havia uma certa "concorrência" entre o óleo e a energia elétrica perceptível por esta metodologia. A seguir apresenta-se as correlações selecionadas. Os principais parâmetros das equações estão mostrados na tabela 5.26.

$$\ln D_{\text{ÓLEO}} = \ln T^{C1} \cdot \ln PIB^{C2} \quad (5.30)$$

$$\ln D_{\text{ÓLEO}} = \ln PIB^{C3} \cdot \ln P_{\text{ÓLEO}}^{C4} \cdot \ln P_{\text{ELE}}^{C5} \quad (5.31)$$

$$\ln D_{\text{ÓLEO}} = \ln T^{C6} \cdot \ln PIB^{C7} \cdot \ln P_{\text{ELE}}^{C8} \quad (5.32)$$

onde : $D_{\text{ÓLEO}}$ = demanda de óleo combustível em 10³M³/ANO

T = tempo em anos, 1970 = 0 ;

P = preços em barril equivalente de petróleo.

ELE = energia elétrica.

$C1$ a $C8$ = constantes determinadas no modelo.

TABELA 5.26
PARÂMETROS DAS EQUAÇÕES (5.30), (5.31) E (5.32)

EQUAÇÃO	R ²	F	COEFICIENTES		ERRO	TSTUD.	PROB
			SÍMBOLO	VALOR			
(5.30)	99,93	11500	C1	- ,658	0,090	-7,3	0,000
			C2	2,005	0,036	54,8	0,000
(5.31)	99,93	7438	C3	0,686	0,419	1,63	0,121
			C4	- ,116	0,19	-0,608	0,5509
			C5	1,511	0,457	3,306	0,0045
(5.32)	99,94	7743	C7	1,272	0,678	1,876	0,082
			C8	- ,380	0,272	-1,394	0,183
			C8	0,845	0,781	1,081	0,296

A melhor correlação obtida é (5.30) que mostra uma tendência de diminuição do consumo de óleo combustível com o tempo. Este efeito está correto. No início da década de 80 o óleo combustível ao lado do diesel, eram os produtos que pressionavam a importação de petróleo. Na ocasião, o CNP introduziu cotas de consumo para as empresas. Em 1980 fixou-se um consumo máximo para cada empresa, 10% inferior ao consumo observado em 1979. A partir de então o óleo foi sendo substituído por outros energéticos inclusive por energia elétrica^{5.14}. Assim ao longo dos anos 80 houve uma grande diminuição do consumo de óleo.

A equação (5.30) captou bem o que ocorreu até 1986 no Brasil. Situação idêntica a descrita por (5.30) está ocorrendo a nível mundial por razões diversas, como a substituição por gás natural, melhor eficiência das indústrias e crescimento do setor terciário da economia.

Em 1986, além do crescimento do PIB e do consumo interno, ocorridos durante o primeiro plano cruzado, houve uma forte estiagem. Para evitar uma possível falta de energia elétrica, muitas empresas voltaram a gerar energia elétrica. Por outro lado o preço do petróleo diminuiu consideravelmente, provocando a queda do preço dos derivados.

Assim a equação (5.31) mostra o efeito do preço do óleo e da energia elétrica, no consumo do óleo combustível. Pode -se

5.14 Na ocasião sobrava energia elétrica. Foi instituído um programa que visava substituir derivados de petróleo pela energia elétrica com tarifas reduzidas. Esse processo de substituição era chamado de eletrotermia. Nessa ocasião surgiram muitas caldeiras e fornos elétricos, que substituíam equipamentos similares a óleo.

observar que o preço da energia elétrica^{5.15} está bem relacionado ao consumo de óleo, o próprio preço do óleo explica muito menos seu consumo.

A equação (5.32) concilia as duas tendências, isto é, a diminuição de consumo do óleo com o tempo, ou seja, o PIB crescendo com menor necessidade de óleo combustível, e o aumento do preço da eletricidade, aumentando a auto geração industrial.

A seguir, na tabela 5.27 compara-se algumas projeções, com o consumo verificado.

TABELA 5.27							
COMPARAÇÃO DA DEMANDA PROJETADA COM CONSUMO DE ÓLEO COMBUSTÍVEL							
ANO	CONSUMO	DEMANDA PROJETADA			ERROS EM PORCENTAGEM		
	10 ³ M ³ /ANO	(5.30)	(5.31)	(5.32)	(5.30)	(5.31)	(5.32)
1975	13795	12760	13250	13356	- 7,5	- 4,0	- 3,2
1980	17199	15014	11423	12982	-12,7	-33,6	-24,5
1983	9554	10710	9895	10191	+12,1	+ 3,6	+ 6,7
1986	9308	13893	11498	11885	+49,2	+23,5	+27,7
1988	10322	13657	14791	13213	+32,3	+43,3	+28,0

Na tabela 5.27, pode-se observar a dificuldade dos modelos econométricos capturarem mudanças bruscas de consumo, como as verificadas com o óleo combustível. Destaca-se no entanto, a razoável estimativa propiciada por (5.32), indicando corretamente os fatores macros, que afetam a demanda de óleo.

5.5 PROJEÇÃO DA DEMANDA DE GLP.

Para os grandes países consumidores de petróleo, o abastecimento do mercado de GLP, não oferece maiores problemas, tendo em vista a pequena porcentagem do consumo de GLP em relação aos outros produtos. Preocupam-se mais, os grandes refinadores, com as possíveis sobras de butanos e propanos.

Provavelmente em decorrência desta relação produção consumo, muito tranqüila do ponto de vista do abastecimento, existem poucos trabalhos sobre estimativas de demanda de GLP.

Assim o objetivo dessa seção será verificar se os modelos econométricos, podem ser aplicados ao estudo da demanda de GLP.

5.15 O preço da energia elétrica expressa muito mais que uma simples competição de energéticos, porque quando ficou patente que poderia faltar energia elétrica, e que o setor necessitava de investimentos, que seriam obtidos pelo aumento de tarifa, as empresas que puderam reativar os sistemas de geração o fizeram também para aumentar a confiabilidade. Em outras palavras, no Brasil considerava-se que a geração de eletricidade seria apenas por hidroelétricas, a partir da possibilidade de falta, recon siderou-se a possibilidade da obtenção da energia elétrica, por via térmica.

5.5.1 HIPÓTESES E DADOS DE CONSUMO.

O GLP é consumido principalmente em residências na cocção de alimentos e, também no aquecimento de água. é usado no setor comercial praticamente para os mesmos objetivos. Outra atividade de certa importância é o setor industrial, principalmente para combustão em fornos de processos especiais, como produção de alimentos, ou outros produtos de alta pureza. Mas o grande consumidor é sem dúvida o setor residencial.

Assim em termos de projeção de demanda sugere-se :

$$DGLP = DGLPRES + DGLPOUTROS \quad (5.33)$$

onde: DGLP = demanda total de GLP;

DGLPRES = demanda de GLP do setor residencial;

DGLPOUTROS = demanda de GLP dos outros setores.

A seguir na tabela 5.28 mostra-se os principais parâmetros relacionados ao consumo de GLP.

TABELA 5.28
PRINCIPAIS PARÂMETROS DA DEMANDA DE GLP

ANO	PIB 10 ⁶ US\$	POPULAÇÃO 10 ⁶ TOTAL	URBANA	PREÇO US\$/BBL	DEMANDAS 1000M ³ /ANO RESIDENCIAL	OUTROS
1970	109.386	94,82	52,13	16,00	2112	113
1971	122.550	97,16	54,43	20,00	2279	122
1972	136.161	99,60	56,82	24,00	2520	135
1973	154.625	102,15	59,28	32,30	2731	158
1974	167.381	104,60	61,02	34,30	2890	213
1975	175.951	107,20	64,44	39,30	2965	247
1976	193.845	109,90	67,22	40,50	3258	339
1977	203.402	112,50	70,12	46,50	3381	407
1978	213.430	115,90	72,95	44,60	3742	454
1979	227.879	118,50	76,11	49,90	4140	454
1980	249.003	121,30	79,26	50,80	4438	513
1981	238.022	124,10	82,54	61,00	4744	512
1982	239.545	126,90	86,31	60,70	5386	498
1983	231.233	129,80	89,35	61,80	5637	521
1984	243.049	132,70	92,99	62,60	5590	506
1985	263.320	135,60	97,36	54,70	6093	528
1986	283.279	138,50	100,83	40,60	6588	596
1987	293.506	141,40	104,54	36,70	6940	934
1988	292.684	144,40	106,16	34,50	7428	1028
1989	301.464	147,50				
1990	309.060	150,44				
1995(a)		165,06	128,17			

(a) Estimado.

Fonte: (IBGE, Ministério das Minas Energias, 1988)

5.5.2 PRINCIPAIS CORRELAÇÕES DO CONSUMO DE GLP.

Na procura das melhores correlações para explicar o consumo de GLP, testou-se as hipóteses clássicas, como a influência do PIB, preço e outras típicas do consumo de GLP, como população total e urbana. Assim, a seguir mostra-se as correlações ligadas a alguma hipótese.

$$\text{INDGLP}_{\text{RES}} = C1 + C2.\text{InPIB} + C3.\text{InPREÇO}_{\text{GLP}} \quad (5.34)$$

$$\text{INDGLP}_{\text{RES}} = C4 + C5.\text{InPIB} + C6.\text{InPOP} \quad (5.35)$$

$$\text{INDGLP}_{\text{RES}} = C7.\text{InPOP}_{\text{URBANA}} + C8.\text{InPREÇO}_{\text{GLP}} \quad (5.36)$$

$$\text{INDGLP}_{\text{RES}} = C9.\text{InPOP}_{\text{URBANA}} \quad (5.37)$$

$$\text{INDGLP}_{\text{RES}} = C10.\text{InPOP} \quad (5.38)$$

$$\text{INDGLP}_{\text{OUTROS}} = C11 + C12.\text{InPIB} \quad (5.39)$$

onde : POP = população total do Brasil;

POP_{URBANA} = população urbana do Brasil;

C1 a C12 = constantes ajustadas no modelo.

A seguir na tabela 5.29 apresenta-se os principais parâmetros estatísticos.

TABELA 5.29
PARÂMETROS DAS EQUAÇÕES (5.34) A (5.39)

EQUAÇÃO	R ²	F	COEFICIENTES		ERRO	TSTUD.	PROB
			SÍMBOLO	VALOR			
(5.34)	99,99	107000	C1	2,023	0,351	5,77	0,000
			C2	1,329	0,034	20,98	0,000
			C3	-,220	0,043	-5,08	0,001
(5.35)	100,00	751000	C4	-4,99	0,41	-12,19	0,000
			C5	0,051	7,76	0,650	0,5129
			C6	2,7398	0,164	16,64	0,000
(5.36)	100,00	215000	C7	0,004	0,025	1,557	0,132
			C8	1,886	0,021	90,60	0,000
(5.37)	99,93	3587	C9	0,872	0,124	7,02	0,000
			C10	1,718	0,03	59,894	0,000
(5.38)	99,49	3317	C11	-5,21	0,235	-22,19	0,000
			C12	2,843	0,049	57,59	0,000
(5.39)	99,68	5695	C13	-5,66	0,603	-9,28	0,000
			C14	2,17	0,113	19,176	0,000

A equação (5.34), correlacionou PIB e preço do GLP ao consumo, pode-se observar que o efeito do preço é pequeno. Em outras correlações, o coeficiente do preço ficou até positivo, como ocorreu em (5.37). A conclusão em relação ao preço, é que influencia o consumo, mas a correlação está sujeita a erros.

Outro aspecto interessante observado foi a variável PIB que isoladamente se correlacionava com a demanda de GLP, no entanto nos modelos em que se testou a população, como em (5.35) o coeficiente de PIB, diminui, e até assumiu valores negativos, e o erro associado ao PIB aumentou bastante.

Assim pode-se concluir que a grande variável ligada ao consumo de GLP é a população. Havia mais uma hipótese a ser testada, se a população urbana ou a total explicaria melhor o consumo de GLP. Pode-se observar pelas equações (5.38) e (5.39), que as duas grandezas explicam bem o consumo de GLP.

Conclui-se que para as variações de preço ocorridas com o GLP desde 1970, influenciaram pouco o consumo. O mesmo pode ser dito em relação ao PIB. A grandeza mais correlacionada, é a população. Outro aspecto a considerar, é que o aumento do consumo de GLP está pouco relacionado ao processo de urbanização, como normalmente supõe-se.

Em resumo, o consumo residencial de GLP é explicado principalmente pela população. Para verificar esta hipótese desenvolveu-se as correlações (5.40) e (5.41), com os parâmetros apresentados na tabela 5.30.

$$DGLP = C15.POP \quad (5.40)$$

$$DGLP = C16 + C17.POP + C18.T2 \quad (5.41)$$

onde : T2 = tempo, em 1970 T2 = 1.

TABELA 5.30
PARÂMETROS DAS EQUAÇÕES (5.40) E (5.41)

EQUAÇÃO	R ²	F	COEFICIENTES SÍMBOLO VALOR		ERRO	TSTUD.	PROB
(5.40)	95,35	343	C15	38,34	2,06	19,54	0,000
(5.41)	99,75	3417	C16	16,12	1,323	12,18	0,000
			C17	247,16	13,73	18,00	0,000

Pela equação (5.40), pode-se observar que o consumo residencial de GLP, está muito relacionado a população. O consumo está se situando na média de 0,038 m³ por ano, por habitante. Ou seja : 1,65 botijões de 13 quilos por ano, por habitante.

Na equação (5.41) foi introduzido um termo em t para captar a tendência de aumento do consumo de GLP, observado nos resíduos da equação (5.40). Curiosamente, observou-se que o consumo de GLP por habitante não se correlacionou ao PIB per capita, nem ao crescimento da população urbana. O termo em t aparentemente está traduzindo a mudança do uso de lenha, carvão vegetal, e querosene usados na cocção de alimentos, para GLP. Como comentado anteriormente, entende-se que este processo de

aumento da participação do GLP, não está ligado ao processo de urbanização, e sim de mudança de hábitos da população.

É interessante observar que segundo o Balanço Energético Nacional, até 1988 era significativa o uso de lenha no setor residencial, que representaria em 1988 35,3% do consumo energético do setor. Ressalta-se que as estatísticas sobre o consumo de lenha são bastante sujeitas a erros.

O consumo de GLP no Brasil, sob a óptica de abastecimento é preocupante, há nítida tendência do uso predominante de GLP na cocção de alimentos. Ao nosso ver, uma família de 5 pessoas, tende a consumir um botijão de gás a cada 3 semanas, isto para uma família de baixa e média renda. Uma família que tivesse hábitos alimentares de menor consumo de energia na preparação de alimentos^{5.16}, gasta um botijão de GLP no intervalo de 4 a 5 semanas. Ao contrário, um consumo considerado alto, para a mesma família de 5 pessoas, seria um botijão de gás a cada 2 semanas. Assim entendemos que a média de um botijão a cada 3 semanas represente bem a média brasileira. Este consumo, pode ser expresso também por 45,06 Kg de GLP por ano por habitante.

Assim pode-se entender que há duas forças atuando no aumento do consumo do GLP, o aumento da população, e o fato da população ainda estar usando outras fontes de energia, que estão sendo substituídas por GLP. Para se atingir este índice de 45,06 Kg/ano-habitante, depende do crescimento econômico do país e principalmente da melhor distribuição de renda.

Apenas para se verificar se a ordem de grandeza do consumo per capita estimado pela equação (5.40), e o estimado por estatísticas próprias, verificou-se o consumo de energia residencial, segundo as classes de renda, considerando-se que, com exceção da energia elétrica, os outros energéticos seriam usados no aquecimento de água e cocção de alimentos. Os resultados estão expressos na tabela 5.31.

TABELA 5.31
CONSUMO DE ENERGIA RESIDENCIAL POR CLASSE DE DESPESA (1974/1975)

CLASSE DE DESPESA EM SALÁRIOS MÍNIMOS	CONSUMO PARA ALIMENTAÇÃO (Mcal/ano)	COMPOSIÇÃO DO CONSUMO			
		GLP	QUEROSENE	CARVÃO VEGETAL	LENHA
MAIS DE 12,67	3.039	81,4	1,7	3,4	13,5
7,59 A 12,67	2.717	68,1	2,8	4,4	24,6
5,39 A 7,59	2.785	60,0	4,0	5,3	30,7
3,16 A 4,09	3.830	30,0	6,7	9,3	69,0
2,46 A 3,16	5.071	15,8	5,3	8,3	72,63

(NOVA, 1985)

5.16 Sabe-se que o preparo de alguns tipos de alimentos requerem mais energia para cocção. O exemplo típico é o preparo do feijão. Alimentos preparados no forno também apresentam alto consumo de energia. Assim pode-se dizer, que mesmo em classe de renda semelhante pode haver apreciável variação no consumo de energia, dependendo dos hábitos alimentares.

Em " Energia e Classes Sociais no Brasil" (NOVA, 1985) considera-se que o maior consumo de lenha das classes de menor poder aquisitivo, seria justificada pelo baixo rendimento desse energético. Entendemos também que a dificuldade da inexistência de dados possibilite, a aparente discrepância, de se atribuir as classes de menor renda um consumo maior de energia, basicamente para preparação de alimentos. Como comentado na obra citada, muitas vezes estima-se o consumo de lenha, como um parâmetro fixo, do tipo toda família, que não tenha declarado um consumo de energia para a preparação de alimentos, atribui-se um determinado consumo anual de lenha.

Face, esses possíveis desvios, para efeito comparativo, consideraremos a média das 4 primeiras classes sociais, ou seja 3087 Mcal/ano. Admitindo-se a média de 5 pessoas por família, temos o consumo de 51,88 kg/ano por habitante, ou 4 botijas de 13 kg por ano por habitante.

Em resumo, temos os seguintes indicativos de consumo de GLP, mostrados na tabela 5.32.

TABELA 5.32
ESTIMATIVAS DE CONSUMOS PER CAPITA DE GLP

FONTE	HIPÓTESE	CONSUMO Kg/ano
EQUAÇÃO 5.40	- Ajuste do consumo de 1970 a 1988	38,03
EQUAÇÃO 5.41	- Ajuste do consumo, considerando tendência de aumento com o tempo (estimativa para 1990)	48,07
ESTIMATIVA PRÓPRIA	- Baseado no consumo médio por famílias, em regiões urbanas, utilizando-se apenas GLP no preparo de alimentos	45,06
A.C.B. Nova	- Utiliza-se estatísticas do IBGE de 1975/1976 e estimativas próprias., Admite também que com exceção da energia elétrica, os outros energé- ticos são usados na cocção.	51,88

Pelas estimativas apresentadas, pode-se admitir que o consumo de GLP tenderá a valores superiores ao estimado pela equação (5.40). A equação, (5.41), pode ser utilizada para projeções, apenas para os próximos anos, porque não dispõe de um termo que limite o aumento do consumo per capita do GLP, que provavelmente ocorra num valor próximo a 50 kg/ano.

Para as projeções de demanda sugere-se, Cálculo do GLP consumido pelos outros setores, pela equação (5.39). Estimativa do consumo residencial através de (5.41), limitando-se o consumo per capita em 50 ou 55 Kg/habitante, dependendo do cenário econômico.

BIBLIOGRAFIA

ALVIN, C. F.; FERREIRA, O. C. Evolução do Consumo De Gasolina e Alcool em Função Da Composição da Frota, In V SIMEA -Simpósio de Engenharia Automotiva, 04 a 06 SET. 1989 .

ANFAVEA, 1986/1989 Anuário Estatístico - São Paulo.

BRASIL . Ministério das Minas e Energia. Balanco Energético Nacional - BEN - Brasília vários anos.

BRASIL . Ministério dos Transportes - GEIPOT - Anuário Estatístico - 1986 Brasília.

BUONFIGLIO, A. Modelo de Previsão de Consumo de Gasolina e Alcool Hidratado. Boletim Técnico da PETROBRÁS Out/Dez 1988 pag 277-281.

IBGE ,1988 Anuário Estatístico do Brasil
Rio de Janeiro, 1988

JANNUZZI , G.M. (1986). O Consumo de Gasolina e Alcool no Brasil: 1960 - 1985 . Ciência e Cultura 1986, pag 1789 - 1796.

KUORIS, G. Fuel Consumption For Road Transport in The USA. Energy Economics - April, 1983

LIMA ,L E.(1986) . Modelo de análise e Previsão de Consumo de Combustíveis (MAPCC) . FDTE- Instituto de Pesquisas Tecnológicas
São Paulo - 1986 .

NORAMBUENA, G. Demanda de combustibles derivados del petróleo en Chile : Métodos y Resultados. Boletim Técnico ARPEL, Setembro 1990 pag, 239- 248.

NOVA, A.C.B. Energia e Classes Sociais no Brasil, 1985
Edições Loyola . São Paulo - Pag 171 e 174.

TONY, Y.P. & HOUSER, D.W. Motor Gasoline Forcasting : An Embryo Science. Oil & Gas Journal, nov, 14, 1983 pag 114-118.

TORRES, F. T. (1986). A Demanda de Gasolina e óleo Diesel No Brasil de 1969 a 1982 . Boletim Técnico da PETROBRÁS, Jan/Mar 1986 pag 73- 81.

CAPÍTULO VI

A QUESTÃO TRIBUTÁRIA ÁLCOOL E GASOLINA

6.1 INTRODUÇÃO

O objetivo deste capítulo é mostrar a estrutura de preços dos derivados de petróleo e a arrecadação de impostos nos combustíveis líquidos, fazendo-se uma estimativa do valor arrecadado e como uma exportação ou importação afetam genericamente as contas nacionais.

De um modo geral confunde-se preço com custo. No caso particular dos derivados de petróleo há um complicante adicional, a semelhança de custos de todos os derivados. Ou seja ao se processar o petróleo separam-se uma série de derivados, que de uma maneira simplista teriam o mesmo custo, quanto mais simples for o esquema de refino^{6.1} mais próximo isto é da realidade. Há um outro dificultador, aplicando-se as regras clássicas da contabilidade atribuiria-se o maior custo aos produtos residuais similares ao asfalto^{6.2}.

Particularmente em relação a gasolina há um outro fator. Geralmente considera-se que o consumidor deve contribuir com recursos a serem investidos em programas de interesse da sociedade. Esta política baseia-se na necessidade do estado investir em estradas para a circulação dos automóveis. Há também um enfoque social, considerando o automóvel como privilégio de uma minoria que deve contribuir para a melhoria do transporte coletivo, e outras obras sociais.

Considerando que o álcool e a gasolina são usados para finalidades essencialmente iguais, merecendo tratamento fiscal semelhante. O objetivo deste capítulo é discutir estas questões.

6.2 A TRIBUTAÇÃO DA GASOLINA EM OUTROS PAÍSES

A seguir, comenta-se alguns aspectos da comercialização de combustíveis nos EUA e Itália.

6.1. For esquema de refino simples deve-se entender, refinarias com apenas unidades de destilação, semelhante a refinaria do tipo 1 apresentada no capítulo 3. As refinarias atuais para atenderem o mercado necessitam de esquema de refino mais complexo.

6.2. Pensando-se numa unidade de destilação de 3 torres, como esquematizado no capítulo 2 desta dissertação, o GLP e a nafta de uso petroquímico, tem baixo consumo de energia. Já por exemplo o diesel, teria um consumo adicional de energia por ser separado na segunda torre, e finalmente o resíduo de vácuo usado como asfalto ou na produção de óleos combustíveis têm um consumo de energia maior ainda por ser separado na terceira torre. Considerando-se então o consumo energético que é a parcela de maior custo do refino, mais o pessoal envolvido, que é o mesmo para todos os derivados, depreciação de equipamentos, que seria maior para o resíduo, chegaria-se a conclusão do maior custo do resíduo de vácuo em relação aos demais derivados.

Os EUA consomem quase a metade da demanda mundial de gasolina. O preço é historicamente o menor dos países desenvolvidos. O preço não é tabelado e há vários tipos de gasolina todas obedecendo as especificações do Instituto Americano de Petróleo - API^{6.3}. No mercado americano há diferentes fornecedores de gasolina, desde as grandes empresas como Exxon, que vão da produção do petróleo até a comercialização de derivados, outras dedicam-se só a uma atividade, por exemplo refino e outras tipicamente comercializadoras, compram diversas correntes, como efluentes petroquímicos, gasolinas de refinarias independentes e etc, compondo as gasolinas e entregando-a qualquer comprador^{6.4}.

Curiosamente foi nos EUA que surgiu o imposto sobre a gasolina, como comentado anteriormente no capítulo 3.

Atualmente, além dos impostos sobre a atividade industrial, sobre cada produto há um imposto de comercialização variável de acordo com constituição de cada estado. Em média a arrecadação é de cerca de 25 centavos de dólar por galão que é vendido ao consumidor a 98 centavos. Ou seja o imposto de comercialização de 28%.

Como os EUA têm um consumo de cerca de 8 milhões de barril/dia, há a arrecadação de 30,66 bilhões de dólares/ano - quantia significativa, mesmo para a economia americana. Para se ter uma base de comparação o custo anual de importação de petróleo é de cerca de 54 bilhões de dólares.

A Itália por sua vez tem mais semelhanças com o Brasil, a começar pela existência de uma grande empresa estatal do setor petróleo, a Empresa Nacional de Hidrocarbonetos - ENI. Porém além das refinarias da ENI, existem quatro refinarias de empresas estrangeiras.

Historicamente o preço da gasolina no mercado interno, é sete vezes o preço internacional. Ou seja pode-se considerar que 15% do preço ao consumidor seriam os custos do produto, inclusive os gastos com comercialização e transporte, 85% seriam impostos.

Esta política permitia^{6.5} que os outros produtos, notadamente o diesel, o querosene de aviação e o óleo combustível, fossem vendidos a preços muito menores.

Para se ter uma idéia do peso desta política, observa-se que tendo em vista o consumo de 300.000 barril/d de gasolina,

6.3 Institucionalmente, o API teria funções similares ao nosso Departamento Nacional de Combustíveis - DNC. Tem também a função de divulgar o conhecimento similar ao Instituto Brasileiro do Petróleo. Entretanto, face a grande quantidade de empresas no mercado americano, necessitando de maior uniformização, é muito forte a presença do API na atividade.

6.4 São os chamados "makers". Normalmente são essas empresas que importam gasolinas, dos diversos países inclusive do Brasil. A importação é feita preferencialmente como um produto não acabado, ou seja que será misturado. Assim diminuem os impostos de importação.

6.5 Face a unificação econômica da Europa, está sendo analisado a política de preço e a qualidade praticada pelos países. Num determinado momento podera surgir uma proposta de unificação para os dois itens.

1.800.000 de petróleo e um custo de 20 US\$ por barril, e 22 para a gasolina, estima-se uma arrecadação de impostos na comercialização de gasolina, de 14,5 bilhões de dólares por ano, ou seja 1,8% do PIB italiano.

Outro aspecto interessante, é que a arrecadação de impostos na gasolina é superior ao dispêndio total com importação de petróleo (com os valores apresentados acima a importação de petróleo seria 13,14 bilhões) de dólares por ano.

Convém ressaltar que em todos os países, havendo ou não monopólio do petróleo, ou tabelamento de preços, é sempre fixado um imposto para cada derivado, de tal forma que o preço refinaria seja diferente do preço ao consumidor, genericamente pode-se escrever a seguinte equação :

$$PC = Pref + Imp + Mrev + Mtra \quad \text{Equação 6.1}$$

sendo : PC , o preço ao consumidor
Mrev , lucro e custos da revenda
Mtra , o lucro e custos do transporte.
Imp , os impostos incidentes

Cada produto, teria os parâmetros para a equação acima. Admitindo-se que uma refinaria produza os produtos A,B,C nas quantidades a, b,c, cada refinaria faria sua contabilidade por uma relação do tipo da relação 6.2 :

$$Ppet.d + Mref + Gref = a.PCA + b.PCB + c.PCC \quad \text{Equação 6.2}$$

sendo: a,b,c percentagens dos produtos A,B e C .
P , os preços.
pet , petróleo.
Mref, a margem de refino líquida
Gref , os custos do refino.
d, o petróleo que deu origem aos produtos A,B,C .

Das equações 6.1 e 6.2 pode-se concluir que, não havendo tabelamento de preços, o valor pago pelo consumidor dependera das condições de mercado e dos impostos .

O fato de um determinado derivado atingir um maior preço, possibilita que outro seja vendido a menor preço, ou que a taxa de imposto seja maior.

Independentemente da estrutura do setor petróleo de cada país, o preço da gasolina influencia o preço dos outros derivados, e propicia grande arrecadação de impostos .

A seguir apresenta-se a sistemática de preços adotadas para os combustíveis líquidos no país.

6.3 A SISTEMÁTICA DE PREÇOS DOS DERIVADOS NO PAÍS

O preço dos derivados de petróleo no país são fixados periodicamente pelo DNC, de acordo com o Ministério da Economia, e o preço do petróleo importado.

O ponto central da estrutura de preços é o custo médio do petróleo importado, o petróleo nacional é valorizado pela média do importado.

Na estrutura, define-se o preço médio de realização (Pmr), como média ponderada em relação a demanda interna, dos preços dos diversos derivados. Por outro lado o Pmr, deve ser igual aos custos de produção que de acordo com a atual lei, são classificadas em custos dos grupos de 1 a 4.

Os custos do grupo 1 (Gr1) referem-se basicamente ao custo CIF do petróleo e dos produtos químicos utilizados no refino como aditivos e catalizadores, geralmente produtos importados. O grupo 2 (Gr2), refere-se aos custos de mão de obra do refino. O grupo 3, está relacionado aos custos de transferência do petróleo, ou seja, os custos dos terminais e oleodutos.

O grupo 4, da cobertura aos custos de capital. Entram neste item a renumeração e a depreciação do capital investido no parque de refino. A equação 6.3 resume esses conceitos.

$$\text{Pmr} = \text{Grupo1} + \text{Grupo2} + \text{Grupo3} + \text{Grupo4} \quad \text{Equação 6.3}$$

Por outro lado o Pmr deve ser igual a média ponderada dos preços de todos os derivados em relação ao consumo. Definido o Pmr, e de acordo com a política específica de cada derivado^{6.6}, define-se os preços. Este é o mecanismo contábil que permite preços diferentes para os derivados. Assim define-se os preços de todos derivados, de acordo com a relação 6.4.

$$\text{Pmr} = a.PA + b.PB + c.PC + \dots \quad \text{Equação 6.4}$$

A equação 6.4 é similar a equação 6.2, no entanto a,b,c significam porcentagem de consumo dos derivados A,B,C. Em alguns casos, como por exemplo da gasolina, o consumo é bastante diferente da produção.

Calculado o Pmr, fixado então os preços dos derivados, no preço ao consumidor ainda incidirão tributos e taxas. Os mais importantes são o ICMS e o FUP. O ICMS é um tributo estadual, incide sobre todos os derivados e também no álcool.

O FUP é o chamado "frete uniformização de preços", é uma alíquota criada em 1984 destinada a gerar recursos para equalizar os preços em todo o Brasil, bem como para compensar diferenças não cobertas por outras parcelas da estrutura de preços. Para o álcool anidro e hidratado há uma alíquota semelhante, chamada de FUPA. Há ainda o FUP álcool-mix, que incide nos derivados, destinado ao FUPA.

A seguir mostra-se na tabela 6.1, uma estrutura de preços, com essas alíquotas e na tabela 6.2 um cálculo de Pmr.

6.6 Por política específica deve-se entender além do preço de produtos similares, por exemplo, no caso do óleo combustível o preço é comparado ao do gás e do carvão, também o direcionamento que é pretendido pelo governo. No caso do óleo um preço muito maior que o do carvão poderia ser um plano de incentivo ao uso do carvão. O menor preço do diesel e do GLP, podem ser entendidos como uma preocupação com a inflação.

TABELA 6.1
ESTRUTURA DE PREÇOS DE 07/12/89 - US\$/M³

PARCELA	GASOLINA	A. ANIDRO	A. HIDRATADO
-Preço de realização ou aquisição	227,28	319,14	295,42
-Impostos e encargos	71,01	66,47	60,51
-FUP (derivados)	40,55	-	-
-FUP (álcool - mix)	51,61	-	-
-FUPA	-	(5,39)	-
-Frete Usina	-	10,73	-
<u>-Preço de faturamento</u>	<u>390,95</u>	<u>390,95</u>	<u>355,93</u>
-Enc. distribuição	32,67	32,67	15,04
-Fup/Fupa distribuição	0,11	0,11	(78,97)
<u>-Preço ao revendedor</u>	<u>423,73</u>	<u>423,73</u>	<u>292,00</u>
-Encargos de revenda	37,35	37,35	37,35
-Frete médio Brasil	-	-	17,02
<u>-Preço ao consumidor</u>	<u>461,08</u>	<u>461,08</u>	<u>346,37</u>
-Preço relativo	100,00	100,00	75,12

TABELA 6.2
COMPOSIÇÃO DO PREÇO DA GASOLINA E DO DERIVADO MÉDIO
(ESTRUTURA DE PREÇOS DE 07.12.89 - US\$/M³)

PARCELA	DERIVADO MÉDIO	GASOLINA
-Preço de realização refinaria	102,16	227,78
-Impostos diversos	26,28	71,01
-FUP (refino)	26,01	40,55
-FUP (mix-álcool)	2,44	51,61
<u>-Preço de Faturamento Refinaria</u>	<u>156,89</u>	<u>390,95</u>
-Encargos e custo distribuição	16,72	32,67
-FUP distribuição	(0,84)	0,11
<u>-Preço de faturamento distribuidora</u>	<u>172,87</u>	<u>423,73</u>
<u>-Preço ao consumidor</u>	<u>196,69</u>	<u>461,08</u>

A tabela 6.1 mostra os principais impostos que incidem nos derivados e no álcool motor. Para se avaliar os efeitos da substituição da gasolina por álcool em termos econômicos é necessário observar na tabela 6.2 a composição do preço do derivado médio ou Pmr, isto é, a renumeração da PETROBRAS é calculada como se só produzisse o derivado médio.

Na estrutura de preços existem os subsídios cruzados, isto é os derivados cujo preço são superiores ao Pmr subsidiam os derivados de preço inferior. Este é o caso da gasolina.

É interessante comentar a existência da conta petróleo e da conta álcool. Existe uma conta entre o DNC e a PETROBRAS, chamada de conta petróleo. O dispêndio com importação de petróleo entra a crédito da PETROBRAS, as receitas obtidas com a venda de derivados entram como débito. Periodicamente é fixado um valor para a alíquota do grupo 1, que deveria cobrir os gastos com refino. Quando os derivados ficam muito tempo sem aumentos, face a alta do dólar, a conta petróleo vai acumulando um crédito em favor da PETROBRAS. Há também uma compensação da taxa de câmbio do dólar, face as diferenças observadas entre o valor praticado e o previamente estabelecido.

Similarmente existe a conta álcool. Teoricamente o FUPA e o FUP(mix derivado), devem cobrir todas as despesas de comercialização e outros custos não previstos. Mas na maioria das vezes isto não ocorre, fazendo com que a compra e venda de álcool gere um saldo negativo alocado a chamada conta álcool.

A seguir nas tabelas 6.3 e 6.4 mostra-se alguns valores dos pontos comentados.

TABELA 6.3
ESTRUTURA DE PREÇO DE 10.01.91 - US\$/M³

ALÍQUOTA	VALOR
GRUPO 1	100,84
GRUPO 2	0,26
GRUPO 3	0,61
GRUPO 4	9,01
PREÇO DE REALIZAÇÃO	110,63
PREÇO MÉDIO CONSUMIDOR	210,96
CIF MÉDIO PETRÓLEO IMPORTADO	95,14
PET. NACIONAL	95,14
TAXA DE CÂMBIO CR\$/US\$	178,95

OUTRAS INFORMAÇÕES DO PERÍODO

CIF MÉDIO PETRÓLEO REAL	118,38
TAXA DE CÂMBIO MÉDIA JAN/91	193,19
PREÇO REALIZAÇÃO GASOLINA	380,65
PREÇO CONSUMIDOR GASOLINA	473,11
PREÇO PRODUTOR ÁLCOOL HIDRATADO	228,18
PREÇO CONSUMIDOR ÁLCOOL	355,61

Vários pontos da tabela 6.3 devem ser ressaltados. O primeiro é o custo da gasolina, pela sistemática adotada é idêntica ao preço médio dos derivados, que por sua vez é praticamente o preço do petróleo importado. No caso específico, o preço médio está menor que o preço CIF-REAL do petróleo.

Na tabela também deve ser observado que o preço do petróleo importado real, está maior que o preço fixado na estrutura de preços, isto ocasionara um débito na conta petróleo.

Deve-se observar também que a taxa de câmbio fixada é menor que a média do período em vigência, isto aumenta o déficit da conta petróleo.

A seguir mostra-se alguns valores da conta petróleo, na tabela 6.4.

TABELA 6.4
DÍVIDA DA UNIÃO PARA COM A PETROBRÁS
(milhões de dólares)

A RECEBER DO GOVERNO	28.2.90	31.3.92
Conta petróleo	372	1.938
Conta álcool	370	641
Débito de outras estatais	490	932
Total	1.232	3.511
Débitos da PETROBRÁS com a União	705	444
Dívida líquida do governo com a empresa	527	3.067

Fonte : (Relatório Reservado, nº 1314, 1992)

Tantos os débitos da conta petróleo como os da conta álcool, ocasionalmente são ajustadas, ou via aporte de recursos ou via reajuste de preços. Porém os débitos da conta álcool são provenientes apenas das diferenças entre valor pago aos produtores e recebimentos obtidos com a venda do produto. A seguir analisa-se, com base nos altos subsídios de gasolina aos outros produtos, as perdas de arrecadação ocasionadas pelo uso do álcool em substituição a gasolina.

6.4 PREÇO DO PETRÓLEO, DA GASOLINA E PERDA DE ARRECADAÇÃO PELA SUBSTITUIÇÃO DA GASOLINA

Conforme será mostrado no capítulo 7 desta dissertação, o fator que mais influencia o preço internacional da gasolina é o preço do petróleo. Para a correta avaliação econômica da substituição da gasolina deve ser adotado os preços internacionais e o valor do produto no mercado brasileiro, que é definido principalmente por políticas econômicas.

Para se estimar as perdas ou ganhos resultantes da substituição da gasolina por álcool, apresenta-se a seguinte relação (6.5) :

$$\text{PERDA} = E(P_{\text{cgas}} - P_{\text{igas}}) - (P_{\text{cal}} - P_{\text{pal}}) \quad \text{equação 6.5}$$

Nesta relação a perda é estimada em alguma moeda, nas estimativas realizadas, adotou-se o dólar. E é um fator de equivalência. Por exemplo um m³ de álcool substitui 0,80 de gasolina. Pc, é o preço ao consumidor, Pi o preço internacional do produto, Pp o preço ao produtor. Gas e al representam a gasolina e o álcool respectivamente.

Para se exemplificar, utiliza-se os valores da tabela 6.1, considerando-se que o álcool hidratado substitui 0,80 de gasolina, o preço internacional médio da gasolina em 1989, 154,11 US\$/m³, a perda estimada seria 194,56 US \$, por m³ de álcool. Os resultados acima podem ser entendidos da seguinte forma. Admitindo-se que haverá uma exportação de gasolina, se obterá 154,11 US\$ no mercado internacional, dando-se incentivos fiscais de 243,2 US\$, mas em cruzeiros. Caso se admitia uma redução de importação, os valores serão os mesmos, isto é se investira 243,2 US\$ de incentivos para substituir 154,11 US\$.

Ainda com relação ao preço obtido pela gasolina exportada não é o mesmo do mercado internacional, como Rotterdam ou Nova York, porque a gasolina deveria chegar naquelas praças para ser vendida pelo preço internacional. Assim deve-se descontar os custos do frete e de seguro. Além disto há grande concorrência entre os países exportadores de gasolina^{6.7}, forçando a queda de preço. Os importadores preferem comprar produto não acabado, para obter menor preço.

Tendo em vista os custos de frete e seguros, que são normalmente superiores a um dólar por barril, e a grande possibilidade da gasolina ser exportada a preço inferior que o internacional (PGASINT), sugere-se a seguinte estimativa de preço de exportação da gasolina (PEXPGAS):

$$PEXPGAS = 0,92.PGASINT \quad \text{equação 6.6}$$

Com base nos conceitos anteriormente comentados, montou-se a tabela 6.5 para estimar as perdas de arrecadação devida a substituição da gasolina.

TABELA 6.5

GASOLINA SUBSTITUÍDA POR ÁLCOOL E VALORIZAÇÃO

ANO	CONSUMO DE ÁLCOOL		GAS.	PREÇO DA GAS		RECEITA	
	ANIDRO / HIDRATADO		SUBS.	INTERN./EXPOR.		CORREN/ 1987	
	1000 M ³ /ANO			US\$/M ³		1000 US\$	
1980	2253	749	2364	268,7	247,2	584	712
1981	1146	1752	2231	305,6	281,1	627	922
1982	2021	2052	3158	278,5	257,1	811	1.308
1983	2197	3670	4510	244,2	224,7	1.013	1.023
1984	2082	5229	5587	216,5	199,2	1.113	1.135
1985	2121	6779	6781	214,1	197,0	1.335	1.348
1986	2442	9062	8750	126,1	116,0	1.015	1.409
1987	2136	9546	8868	139,8	128,5	1.139	1.139
1988	1966	10381	9358	134,6	123,8	1.158	948
1989	1622	11068	9874	154,1	141,8	1.389	1.147
1990	1218	10212	8633	164,1	151,0	1.303	1.095
TOTAIS	21204	70500	70112	-	-	11.497	12.188

6.7 A tendência atual é de muitos países exportarem gasolina. Em 1989 vários exportaram para os EUA, os principais em ordem decrescente: Venezuela, Brasil, Canadá, Arábia Saudita, Espanha, Ilhas Virgens, Holanda, Inglaterra, Itália, França, Antilhas, Romênia, China, Argentina. A Venezuela exportou cerca de 75140 bbl/d, e a Argentina 3520 bbl/d.

Na tabela 6.5 considera-se que todo álcool produzido propiciou uma exportação de gasolina (GAS SUBS). Considerou-se também que o preço da gasolina exportada foi estimada de acordo com a equação 6.6. As receitas obtidas foram calculadas em dólar corrente e em dólar de 1987.

A seguir, estima-se, na tabela 6.7, a arrecadação propiciada por m³ de álcool, hidratado e anidro, e gasolina vendidos no mercado interno.

TABELA 6.6
ARREDAÇÃO EM US\$(1987)/M³ DO ALCOOL E GASOLINA

ANO	PRODUTOR			CONSUMIDOR		ARRECAÇÃO		
	GAS	AL	PET	GAS	AH	GAS	AA*	AH
1979	158	281	135	518	292	360	201	11
1980	245	296	222	737	382	492	403	86
1981	247	274	223	727	414	480	418	140
1982	236	222	212	593	349	357	342	127
1983	266	251	243	596	350	330	313	99
1984	256	245	232	563	353	307	288	109
1985	255	256	232	492	319	237	203	63
1986	130	167	106	468	304	338	280	137
1987	144	199	121	574	374	430	350	175
1988	108	172	85	423	288	315	229	116
1989	139	173	116	293	220	154	98	47
1990	149	244	125	311	233	162	96	-9

TABELA 6.7.
PERDA DE ARRECAÇÃO FACE A SUBSTITUIÇÃO DA GASOLINA

ANO	GASOLINA		ANIDRO		HIDRATADO		SALDO 10 ⁶ US\$/ANO
	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	
1980	2364	1163	2253	908	749	64	-191,00
1981	2231	1070	1146	481	1752	245	-364,00
1982	3156	1126	2021	691	2052	261	-174,00
1983	4510	1488	2197	688	3670	363	-437,00
1984	5587	1715	2082	600	5229	570	-545,00
1985	6781	1593	2121	431	6779	427	-735,00
1986	8750	2857	2442	684	9062	1241	-1032,00
1987	8868	3813	2136	748	9546	1671	-1394,00
1988	9358	2848	1966	450	10381	1204	-1294,00
1989	9874	1521	1622	159	11068	520	-842,00
1990	8633	1399	1218	43	10212	-92	-1448,00
TOTAL 70112							-8456,00

(1) Volume em 1000 m³/ano

(2) Arrecadação em US \$/ano - Dólar de 1987

Na tabela 6.7, o valor associado a gasolina refere-se a arrecadação que propiciaria, caso não fosse substituída. Para o álcool anidro e hidratado, mostra-se as arrecadações propiciadas. O saldo indicado mostra o quanto deixou de ser arrecadado.

As tabelas 6.5, 6.6 e 6.7 foram construídas com dados obtidos no Balanço Energético Nacional de 1989 - MME e Contribuição ao Reexame da matriz Energética Brasileira 1991 - MINFRA. O preço ao produtor do álcool foi obtido da o CNI e o PROÁLCODL - Confederação Nacional da Indústria 1991. O preço de 1990 foi obtido do relatório do Tribunal de Contas da União - Auditoria Operacional do PROÁLCODL. Nas conversões de cruzeiros para dólar utilizou-se os fatores da Revista Suma Econômica.

Outro aspecto a ser ressaltado é o preço pago da gasolina a PETROBRÁS, estimado com base estrutura de preços de junho de 1992, admitindo-se o custo de refino como 23,0 US\$/m³ - média de algumas estruturas de preços analisadas. A seguir na tabela 6.8 compara-se a receita obtida com as exportações de gasolina com a receita teoricamente obtida pela PETROBRÁS caso a gasolina fosse vendida no mercado interno.

TABELA 6.8
COMPARAÇÃO RECEITA DA GASOLINA
EXPORTADA COM MERCADO INTERNO

ANO	GAS SUBSTITUÍDA 1000 M ³ /ANO	RECEITA 10 ⁶ US\$	
		EXTERNA	INTERNA
1980	2364	712	579
1981	2231	922	551
1982	3158	1.308	745
1983	4510	1.023	1.204
1984	5587	1.135	1.403
1985	6781	1.349	1.729
1986	8750	1.409	1.137
1987	8868	1.139	1.280
1988	9358	949	1.010
1989	9874	1.147	1.376
1990	8633	1.095	1.417
TOTALS	70112	12.188	12.431

Na tabela 6.8 pode-se observar que apesar do valor do mercado interno ser 2% maior, os valores são bastante próximos, indicando que as hipóteses assumidas permitem o desenvolvimento do estudo. Indicam também que para a PETROBRÁS as receitas obtidas com exportação de gasolina ou venda no mercado interno são muito próximos e não devem afetar, sob este aspecto, os resultados financeiros. Porém, para arrecadação de impostos, há uma perda como o estimado na tabela 6.8.

A seguir estima-se outros subsídios indiretos dados ao PROÁLCODL.

6.5 OUTROS INCENTIVOS AO PROÁLCODL

Os principais subsídios considerados são, o menor IPI (imposto sobre a produção industrial), o menor valor do IPVA (imposto sobre propriedade de veículos) do carro a álcool em relação ao similar movido a gasolina.

6.5.1 O MENOR PREÇO DO CARRO A ÁLCOOL.

O carro a álcool recebe um incentivo de 5% de IPI (DNC-MINFRA, 1991), como este imposto representa cerca de 28% do preço do veículo, pode-se dizer que há um incentivo de cerca de 1,4% do preço final do veículo.

Estimou-se a diferença entre o preço dos veículos à álcool e gasolina no mês de fevereiro de 1990 (Quatro Rodas) chegando-se a conclusão que no período analisado a diferença de preço médio entre todos os veículos era 3,8%. Curiosamente os veículos semi novos, de 1989, 1988 e 1987 mantinham um diferencial médio de 1%. Isto é, um veículo a gasolina custava cerca de 1% a mais que o correspondente a álcool.

Um aspecto interessante é que o veículo a álcool têm mais acessórios, cita-se: bateria de maior potência, sistema de partida com gasolina e proteção especial contra a corrosão de algumas partes, como tanque de combustível e carburador. Apenas a partir de 1990 os modelos à gasolina ganharam um equipamento adicional, o canister^{6.8}.

Um outro conceito necessário a estimativa dos incentivos concedidos, é o preço médio anual, ou seja o preço médio de todos veículos comercializados em cada ano. No presente estudo foi estimado com base nos veículos mais vendidos de acordo com a revista Quatro Rodas, representavam mais de 90 % de todos os veículos.

A seguir na tabela 6.9 apresenta-se a quantidade de veículos à álcool vendidos e o preço médio anual.

TABELA 6.9				
ESTIMATIVA DO INCENTIVO TRIBUTÁRIO AO VEÍCULO À ÁLCOOL				
ANO	QUANTIDADE ANUAL	PREÇO MÉDIO US\$	INCENTIVO - 1000 US\$ US\$	US\$ 1987
1980	259623	3578	9289	11328
1981	474730	3813	18101	26819
1982	183454	4746	8706	14043
1983	500924	4596	23022	23254
1984	474150	4888	23178	23646
1985	643721	4074	26225	26489
1986	676577	4418	29891	41515
1987	444433	6753	30012	30012
1988	546813	8610	47081	38590
1989	365139	9156	33432	27403
1990	119832	9660	11575	13780
1991	146100	10248	14972	24953
1992	200000	14187	28374	47290
TOTAL 1980 A 1990			260511	255397

6.8 Trata-se de um equipamento destinado a diminuir as perdas evaporativas do combustível, para atenuar os problemas ambientais. Basicamente é um filtro de carvão que retém os hidrocarbonetos.

O do PMVN para os anos de 86 a 91 foi calculado com base nos veículos mais vendidos, publicado pela revista Quatro Rodas. Com os levantamentos feitos para estes anos verificou-se que o PMVN era 1,416 o preço do veículo mais barato.

Para os anos anteriores a 1986, a ANFAVEA publicava o preço do veículo mais barato, que foi convertido a PMVN, pelo uso do fator 1,416. O PMVN de 1992 foi calculado pelo preço de maio e vendas acumuladas até esse mês.

A tabela 6.9 mostrou uma estimativa dos incentivos fiscais concedidos ao comprador do carro. O cálculo foi simplificado pela hipótese de 1% do preço final do veículo. O valor mais provável é 1,4 %, ou seja 5% de desconto de IPI que é 28% do valor do veículo.

Pode-se observar também na tabela o aumento real do preço do veículos novos.

A seguir será calculado os incentivos dados aos proprietários dos veículos álcool, pelo menor IPVA.

6.5.2 O MENOR IPVA

O imposto sobre a propriedade de veículos (IPVA) tem variado um pouco nos últimos anos. Até 1986 era um imposto federal chamado de Taxa Rodoviária Única (TRU), passou a ser estadual. No presente estudo adotou-se os valores praticados no Estado de São Paulo como válidos para todo Brasil.

O IPVA até 1989 era 3% sobre o valor do veículo a gasolina, o modelo a álcool era 1,5%. Em 1990 igualou-se as taxas. Em 1992 o imposto foi aumentado para 4%, sendo que os veículos a álcool pagaram 3%. Recentemente os jornais publicaram que havia a intenção do governo do estado de São Paulo de reduzir o IPVA dos veículos a álcool para 2%. Com a metodologia proposta pode-se estimar a perda de arrecadação de associada.

Outro aspecto necessário a esta estimativa, é o valor do veículo usado adotado no cálculo do IPVA. Com base nas tabelas do IPVA de 1992, obteve-se a seguinte correlação

$$\ln Y = 3,94 - 0,18T$$

$$\text{equação 6.7} \\ R^2 = 0,96$$

Nesta correlação Y é o valor adotado para o cálculo do IPVA do veículo usado, expresso em porcentagem em relação ao veículo novo. T é o tempo em anos. Para exemplificar um veículo produzido em 1990, T é igual a 2 e Y calculado por 6.7 é 35,87. Isto é, pagaria 35,87 % do valor pago pelo veículo novo.

Deve-se observar que durante toda vida do automóvel fica valendo o desconto do IPVA, e o uso da equação acima facilita o cálculo. A seguir na tabela 6.10 apresenta-se os fatores de IPVA anuais calculados pela relação 6.7.

Os fatores apresentados na tabela 6.10 são os percentuais de desconto aplicados no IPVA dos veículos a álcool, em relação ao preço médio do veículo novo (PMVN), conceito definido no item anterior e utilizado para estimar os incentivos concedidos. Na tabela 6.11, com os PMVN anuais, e os índices da tabela 6.10 calcula-se a perda de arrecadação do IPVA.

TABELA 6.10
FATORES DE DESCONTO DO IPVA PARA VEÍCULOS À ÁLCOOL

ANO	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92
1980	88	75	63	53	44	37	31	26	21	18	17	7	12
1981	-	88	75	63	53	44	37	31	26	21	20	9	14
1982	-	-	88	75	63	53	44	37	31	26	24	10	18
1983	-	-	-	88	75	63	53	44	37	31	30	12	20
1984	-	-	-	-	88	75	63	53	44	37	35	15	24
1985	-	-	-	-	-	88	75	63	53	44	42	18	30
1986	-	-	-	-	-	-	88	75	63	53	50	21	35
1987	-	-	-	-	-	-	-	88	75	63	61	25	42
1988	-	-	-	-	-	-	-	-	88	75	72	31	50
1989	-	-	-	-	-	-	-	-	-	88	86	36	61
1990	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	43	72
1991	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	55	86
1992	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100

Observação! dividir fatores por 100, obtendo porcentagem de redução em relação ao preço do veículo novo. Exemplo um veículo 1985 em 1989 teve um desconto de 0,44 % em relação ao preço do veículo produzido em 1989.

TABELA 6.11
ESTIMATIVA DOS INCENTIVOS DO IPVA DO CARRO À ÁLCOOL

ANO	VEÍCULOS	PMVN US\$	TOTAL ACUMULADO - 1000 US\$ corrente	de 1987
1980	259623	3578	8.174,6	9.969,0
1981	474730	3813	23.353,9	34.343,8
1982	183454	4746	31.677,3	51.092,4
1983	500924	4598	44.527,7	44.977,5
1984	474150	4888	60.543,1	61.778,6
1985	643721	4074	65.018,8	65.675,6
1986	676527	4418	107.630,4	149.486,7
1987	444433	6753	132.786,1	132.786,1
1988	546813	8610	174.863,1	143.330,4
1989	385139	9156	192.821,1	158.050,1
1990	119832	9660	187.012,1	222.693,5
1991	146100	10248	102.771,2	-
1992	200000	14187	271.066,4	-

TOTAL ATÉ 1990	1.028.408,1	1.072.123,7
----------------	-------------	-------------

No cálculo, admitiu-se que todos os veículos vendidos no ano corrente(novos), pagassem o IPVA no início do ano.

Pode-se estimar que a redução do IPVA dos carros a álcool de 3 para 2%, só para os veículos novos, admitindo-se os valores do ano de 1992 da tabela 6.10, provocaria a perda de arrecadação de 28.374.000,00 US\$, só no primeiro ano.

6.5.3 IMPORTAÇÃO DE PRODUTOS OXIGENADOS

Como o objetivo deste trabalho é apresentar uma série de dados na tentativa de mostrar a importância de se planejar o setor, procura-se mostrar as importações de produtos oxigenados. Em 1989 em virtude da quebra da safra e o favorecimento da produção de açúcar em detrimento do álcool ocorrido entre 1989 e 1990, ocasionou um déficit de 1,5 bilhão de litros (DNC-MINFRA, 1991). Foi então necessário importar álcool anidro, hidratado e metanol para abastecer o mercado. Essas importações foram realizadas pela PETROBRÁS E COOPERSUCAR. A seguir na tabela 6.12 mostra-se as importações realizadas pela PETROBRÁS.

TABELA 6.12
IMPORTAÇÕES DE PRODUTOS OXIGENADOS PELA PETROBRÁS

ANO	METANOL M ³	ANIDRO M ³	HIDRATADO M ³	CUSTO ANUAL 1000 US	GASOLINA EQUIVALENTE
1989	50.592	-	-	- 7.983	22.766
1990	503.695	433.348	213.602	283.826	744.221
1991	459.719	173.372	291.940	212.669	750.005
TOTAL	1.014.006	606.718	505.542	182.839	1.516.992
CUSTOS					
US/M ³	157,8	332,2	282,7	-	151,0
1000 US	160.010	201.552	142.916	-	229.066
GUSTO COM IMPORTAÇÃO OXIGENADOS (1000 US\$)					380.478
RECEITA COM GASOLINA EQUIVALENTE EXPORTADA					229.066
RELAÇÃO PREÇO OXIGENADO /GASOLINA EQUIVALENTE					1,57

Fonte : (PETROBRÁS, 1991)

6.5.4 ASPECTOS AMBIENTAIS

Segundo a CETESB (Companhia Estadual de Saneamento Ambiental) o grande benefício do PROÁLCOL seria a diminuição da emissão de monóxido de carbono - gás CO -, importante principalmente nos grandes centros urbanos (MURGEL, 1990).

Há uma certa controvérsia sobre o assunto. Analisando-se os limites de emissões veiculares estabelecido em outros países por exemplo EUA, pode-se observar limites mais rigorosos, que os brasileiros. Limites que devem ser atendidos sem a obrigatoriedade do uso de oxigenado. Assim reforça-se a tese de que a emissão de poluentes principalmente do gás CO, é uma questão de regulação e tecnologia adequada.

Indiscutivelmente para carros velhos regulados para gasolina, a adição de álcool, empobrece a mistura ar combustível, favorecendo a menor emissão do gás CO. Este efeito é mais significativo nos carros carburados e antigos. Em veículos

com injeção eletrônica e sonda lambda^{6.7} o efeito é mínimo (YACCARINO P.A., 1989).

É importante ressaltar que em termos de minimização de emissão de poluentes é extremamente ruim a falta de álcool para ser adicionado a gasolina, porque os carros regulados para mistura com 22% de álcool, ao serem alimentados com menor teor de álcool, trabalham com mistura mais rica, emitindo mais CO. Uma estimativa grosseira indica um aumento de 28% na emissão de CO ao se diminuir a porcentagem de álcool de 22 para 12%. Caso os carros fossem regulados para 0% de álcool e alimentados com 10% de álcool haveria uma redução na emissão de CO de 17,8%.

Assim pode-se considerar que há um erro estratégico no uso do álcool em termos de controle de poluição. Este fato fica bem claro analisando-se o período posterior a 1989, quando devido a falta de álcool, a gasolina passou a ser comercializada com 12% de álcool, com exceção das regiões metropolitanas de São Paulo e Rio de Janeiro.

Com a mesma disponibilidade de álcool poderia-se ter uma redução dos níveis de poluição. Pelo fato dos carros estarem regulados para 22% de álcool, houve um aumento.

Deve-se ressaltar que a frota de veículos a álcool tem baixa emissão de gás CO. Os veículos a gasolina só teriam índices de emissão semelhante, se tivessem equipamentos modernos como catalizador, sonda lambda e injeção eletrônica..

Outro aspecto relacionado ao meio ambiente é o efeito estufa, relacionado a concentração de alguns gases na atmosfera como o dióxido de carbono - CO₂ - que se correlaciona a queima de combustíveis fósseis, e a outros gases, como o metano relacionado principalmente com a atividade agrícola e pecuária, como foi comentado no capítulo 4, desta dissertação.

A seguir, na tabela 6.13 apresenta-se uma estimativa de diminuição da emissão de dióxido de carbono, face ao uso do álcool como combustível automotivo em substituição a gasolina, admitindo-se que a produção de álcool, gere um consumo de diesel, tanto no transporte da cana, como do álcool. Considerou-se o consumo de 5% de diesel em relação ao álcool produzido.

TABELA 6.13
DIÓXIDO DE CARBONO NÃO EMITIDO DE 1980 A 1990

GASOLINA SUBSTITUÍDA	70.112	1000 M ³
CONSUMO DE ÁLCOOL	91.704	1000 M ³
CONSUMO DE DIESEL ESTIMADO	4.585	1000 M ³
EMIÇÃO DE CO ₂ POR M ³ GASOLINA	2.301	KG
EMIÇÃO DE CO ₂ POR M ³ DIESEL	2.722	KG
EMIÇÃO DE CO ₂ PELA GASOLINA	161,3	10 ⁶ T
EMIÇÃO DE CO ₂ PELO DIESEL	12,5	10 ⁶ T
DIFERENÇA = CO ₂ NÃO EMITIDO	148,8	10 ⁶ T

6.7 Os modelos mais modernos de injeção eletrônica dispõe de um sensor dos gases de combustão e sistema de controle, que permitem a variação da admissão de combustíveis de forma a minimizar a emissão de poluentes.

6.6 ANÁLISE CONSOLIDADA

O objetivo será resumir os dados e conceitos dos itens anteriores de forma a permitir uma visão geral do assunto. Apresenta-se na tabela 6.14 os principais

TABELA 6.14			
AVALIAÇÃO DE CUSTOS DA SUBSTITUIÇÃO DA GASOLINA			
Itens QUANTIFICADOS	TABELA	MILHÃO DE DÓLAR 1987	
		EXTERNO	INTERNO
1- GASOLINA EXPORTADA	0.5	+12.188	-
2- OXIGENADOS IMPORTADOS	6.12	- 360	-
3- INCENTIVO PREÇO CARRO ÁLCOOL	6.9	-	255
4- INCENTIVO IPVA CARRO ÁLCOOL	6.11	-	1.072
5- MENOR ARRECADAÇÃO DO ÁLCOOL	6.7	-	8.456
TOTAL		11.828	9.789

A tabela 6.14 resume os cálculos anteriores e pode ser interpretada da seguinte forma: a substituição de gasolina por álcool permitiu ou a menor importação de derivados e ou a exportação de gasolina, no valor de 11,82 bilhões de dólares. No entanto para isto, o governo brasileiro, nas várias formas de impostos e taxas deixou de arrecadar 9,78 bilhões de dólares. Ou seja para cada dólar exportado, foi dado incentivos fiscais de 0,83 dólar.

Entre Junho e Agosto de 1992, foram publicados uma série de artigos nos jornais sobre as dificuldades financeiras da PETROBRAS, que tenta suspender a compra de álcool, como forma de evitar prejuízos de 80 milhões de dólares por mês (GAZETA MERCANTIL 17.06.92). As empresas distribuidoras recusaram-se a comprar o álcool, por não poderem assumir o prejuízo citado (GAZETA MERCANTIL 25.06.92).

Em relação a tabela 6.14, pode-se observar que os valores estimados como perdas são da ordem de 74 milhões de dólares por mês. Ou seja a ordem de grandeza é próxima do relatado pelos jornais.

A tabela 6.14, traz a estimativa de economia ou receitas externas possibilitadas pela substituição da gasolina, de 11,82 bilhões de dólares, já o DNC no estudo "Contribuição ao Reexame da Matriz Energética Brasileira", estima que entre 1975 a 1990 essa economia seja de 8 bilhões de dólares (DNC, 1991). Entre 1975 a 1979 o consumo de álcool é bastante baixo, permitindo assim a comparação com a tabela 6.14 estimada para o período 1980 a 1990.

Outro aspecto ligado ao PROÁLCOOL, foram incentivos via financiamento subsidiados, principalmente no início do programa. Segundo o DNC no estudo já citado, de 1976 a 1990 os financiamentos ao programa foram de 5,62 bilhões de dólares.

Estima-se o mercado paralelo do álcool em 700 milhões de litros por ano, ou seja cerca de 3% do total de álcool motor. O DNC avalia como uma perda de 65 milhões de dólares por ano. (Folha de São Paulo, 20/05/91).

6.7 HISTÓRICO E PERSPECTIVAS DE PREÇOS DA GASOLINA

Uma análise que pode ser feita com o objetivo de se estimar os preços ao consumidor da gasolina, em diferentes cenários, é observar a média e o desvio padrão da diferença dos preços da gasolina e preço de importação do petróleo.

Para facilitar esse tipo de análise, apresentam-se, na tabela 6.15 o preço do petróleo e da gasolina..

TABELA 6.15
PREÇOS DE GASOLINA E PETRÓLEO EM US\$/BARRIL IMPORTADO
ANO GAS/PETRÓLEO PET. IMPORTADO PGASOLINA PGAS-PPETRÓLEO
CONSUMIDOR

1973	5,9	7,3	43,07	35,77
1974	3,2	20,2	64,64	44,44
1975	4,3	18,8	80,84	62,04
1976	5,1	18,6	94,88	76,26
1977	5,4	17,8	96,12	78,32
1978	5,4	16,5	89,10	72,60
1979	4,3	21,4	92,02	70,62
1980	3,7	35,3	130,61	95,31
1981	3,6	35,4	127,44	92,04
1982	3,4	33,7	114,58	80,88
1983	2,7	38,6	104,22	65,62
1984	2,7	36,9	99,63	62,73
1985	2,4	36,9	88,56	51,66
1986	4,9	16,9	82,81	65,61
1987	5,3	19,3	102,29	82,99
1988	5,6	13,5	75,6	62,10
1991	5,23	20,6	81,1	80,61
MEDIA				69,50
DESVIO PADRÃO.....				15,00

Fonte : (BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL, 1989), e estimativas próprias.

Como pode ser visto na tabela 6.15, no período posterior ao primeiro choque do petróleo procurava-se manter o crescimento econômico, acreditava-se então ser uma crise passageira, os derivados foram mantidos baixo. A diferença do preço da gasolina para o petróleo foi :

$$PGAS - PPET < MÉDIA - DESVIO PADRÃO \quad (6.8)$$

Nos anos de 1980 e 1981 quando sentiu-se os efeitos do segundo choque de petróleo, e procurava-se obter uma redução no consumo de derivados a diferença de preço foi :

$$PGAS - PPET > MÉDIA + DESVIO PADRÃO \quad (6.9)$$

A tendência atual tendo em vista o abaixamento do preço do petróleo em relação aos anos de 1980/81, principalmente se considerado o efeito da inflação do dólar, é de se manter preços relativamente baixos. Pode-se considerar como tendência atual manter :

$$PGAS - PPET = MEDIA - 0,5. DESVIO PADRÃO \quad (8.10)$$

Assim pode-se admitir como tendências, a atual de se manter o diferencial de preço gasolina - petróleo , da ordem de 61,00 US\$/barril..Provavelmente uma elevação moderada do preço de petróleo que motivasse uma política de redução de consumo de derivados , fixaria um diferencial de preço da ordem de 77,5 US\$/barril,resultante de :

$$PGAS - PPET = MEDIA + 0,5. DESVIO PADRÃO \quad (8.11)$$

Este tipo de observação é útil para o estudo de cenários, principalmente para o estudo da viabilidade da substituição da gasolina por outros energéticos.

A seguir na tabela 6.16 calcula-se o preço provável da gasolina ao consumidor , em diferentes cenários.

TABELA 6.16
PREÇOS PROVÁVEIS DA GASOLINA AO CONSUMIDOR

POLÍTICA INTERNA	EQUAÇÃO	PREÇO DO PETRÓLEO US\$/BARRIL				
		20	25	30	35	40
		PREÇO DA GASOLINA US\$/BARRIL				
-RESTRIÇÃO IMPORTAÇÃO DÉFICIT NA BALANÇA	6.9	104	109	114	119	124
-POLÍTICA DE RECUPERAÇÃO DE TARIFAS.	6.11	97	102	107	112	117
-BAIXO CRESCIMENTO ECONÔMICO	6.10	82	87	92	97	102
-INCENTIVO AO CONSUMO CRESCIMENTO ECONÔMICO..	6.8	75	80	85	90	96

A tabela 6.16 é apenas ilustrativa, mas mostra acertadamente, que o preço da gasolina esta ligado principalmente a política econômica , o preço do petróleo é um fator secundário. É claro que o preço do petróleo pode ter influencia na economia mundial, determinando uma política interna, por exemplo , uma elevação brusca de preço pode provocar uma recessão mundial, haveria dificuldade em se exportar e problemas com a balança de pagamentos, nesta situação provavelmente elevaria-se o preço da gasolina.

BIBLIOGRAFIA

- BRASIL, MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA.
Balanco Energético Nacional, Brasília , 1989.
- Câmara dos deputados. Palestra proferida pelo Presidente da PETROBRÁS. Brasília 25/06/91.
- Confederação Nacional da Indústria.
A CNI e o Proálcool. Rio de Janeiro , 1990 CNI, COASE
- Consultoria e Publicações.
Revista Suma Econômica Fevereiro de 1992.
- Departamento Nacional dos Combustíveis - Ministério da Infra Estrutura . Contribuição ao Reexame da Matriz Energética Brasileira . Brasília , Junho de 1991.
- Editora Abril
Revista Quatro Rodas , São Paulo.Período de 1986 a 1991
- Jornal Folha de São Paulo - São Paulo
De 20/05/91.
- Jornal Gazeta Mercantil - São Paulo.
De 17/06/92 pag 16 e 25/06/92 pag 18.
- MURGEL, Eduardo Mascarenhas
Veículos Automotores.O Proálcool e a qualidade do ar
Rio de Janeiro, 1990: CNI, COASE.
- Relatório Reservado, nº 1314, 25 a 31 Maio , 1992. Rio de Janeiro
- Tribunal de Contas da União
Relatório de Auditoria Operacional do Programa Nacional do Alcool -05/10/1990.
- YACCARINO , P. A.
The effect of Oxygenated Fuel. Altitude and temperature on CO Emission. SAE Technical Paper Series 892063 , EUA 1989.

CAPÍTULO VII

CENÁRIOS INTERNACIONAIS PARA OS DERIVADOS DE PETRÓLEO

7.1 INTRODUÇÃO

Normalmente quando se discute o assunto derivados de petróleo, pensa-se em pontos de vista isolados do tipo pode haver um novo choque de petróleo, ou os outros países não estão iniciando programas de produção de oxigenados e etc...

O objetivo deste capítulo é tecer alguns comentários sobre o comportamento do mercado internacional do petróleo e seus derivados, e também dos combustíveis oxigenados, para permitir a proposição de alguns cenários para o futuro.

Muitas das hipóteses e considerações serão baseadas nas informações dos EUA. Inclusive serão propostas alguns modelos simples de demanda de derivados e projeções de preços. A escolha dos EUA, deve-se a duas razões básicas: o mercado americano consome cerca de 50% da gasolina e aproximadamente 30 % do petróleo consumidos mundialmente. Além disso há disponibilidade de informações.

Em alguns casos serão utilizadas informações de países da Europa, de forma a dar mais abrangência e confiança nos cenários propostos.

7.2 PERSPECTIVAS PARA O PETRÓLEO

Face a dependência externa brasileira em relação ao petróleo, e devido a ocorrência dos dois choques do petróleo^{7.1}, a discussão de cenários futuros, depara-se sempre com argumentos de pouca probabilidade, embasados quase sempre em uma retórica alarmista. Principalmente quando se trata de substitutos do petróleo.

Tendo em vista o exposto é oportuno discutir as possibilidades de haver um novo choque do petróleo. Um parâmetro importante para estudar perspectivas de choques e ou elevações bruscas de preços é a relação reservas-consumo de petróleo. A seguir mostra-se na tabela 7.1 dados de consumo e reservas de petróleo no mundo.

7.1 Ao nosso ver, como foi comentado no capítulo 3, a queda brusca de preços ocorrida em 1986 pode ser considerada como o terceiro choque do petróleo, no entanto parece ter ficado desapercibido, em relação a elevação brusca de preços ocorrida em 1973 e 1979.

TABELA 7.1
RESERVAS E CONSUMO DE PETRÓLEO

ANO	RESERVAS(1)	CONSUMO(2)	(1)/(2) ANOS	CONSUMOS(10 ⁶ BBL/D)	
	10 ⁹ BBL	10 ⁶ BBL/D		GASOLINA	DIESEL
1970	470,5	39,06	12,04	11,27	10,83
1973	523,7	47,48	11,03	13,70	13,30
1976	554,5	47,56	11,66	14,16	13,18
1979	551	51,58	10,68	15,05	15,39
1982	584	46,27	12,62	14,07	14,07
1985	615,7	46,25	13,31	14,57	15,04
1987	620,5	48,44	12,81	15,4	15,96
1988	808,1	*50,45	16,01		
1990	910,7	*49,63	18,35		

Fonte : (Andersen, Arthur 1990 pag 88/89)

* Estimado com base do consumo dos EUA.

A tabela 7.1 permite que se façam vários comentários. O mais importante é observar que os chamados choques de petróleo ocorreram quando a relação reservas/consumo estava em torno de onze anos. Outro aspecto importante, é o expressivo crescimento das reservas de petróleo de 1987 a 1990.

Por outro lado pode-se observar que o consumo ainda é inferior ao de 1979. O resultado das duas considerações é a elevação da relação reservas/consumo.

Outro ponto interessante é a grande redução no consumo de óleo combustível, que vai sendo substituído por gás natural e transformado em derivados mais nobres como o diesel e a gasolina, possibilitando a redução do consumo de petróleo.

Deve-se observar também que o tradicional "carro chefe" da indústria do petróleo, a gasolina, perde lugar para o diesel que a partir de 1982 passa a ser o derivado de maior consumo.

Pode-se admitir como pouco provável, a hipótese de um novo choque de petróleo, face as atuais reservas mundiais.

Para o longo prazo pode-se questionar se essas reservas não se aproximarão do patamar crítico de 10 anos. Atualmente estão sendo feito estudos que procuram estimar as reservas futuras de petróleo. Uma tese que vem sendo defendida é o efeito das novas tecnologias. É por exemplo o que se observa com a produção brasileira de petróleo em águas profundas e também o aumento da recuperação de petróleo em poços existentes.

Um estudo mostra as seguintes estimativas de reservas de petróleo para o ano de 2010, apresentadas na tabela 7.2.

TABELA 7.2
RESERVAS ESTIMADAS DE PETRÓLEO EM 2010 em 10⁹ BARRIL

TECNOLOGIA	ATUAL	NOVA
RESERVAS APROVADAS	1000	1000
RESERVAS A DESCOBRIR	350 a 400	800 a 750
RESERVAS ADICIONAIS	150 a 200	750 a 900
TOTAL	1500 a 1600	2350 a 2650

Fonte : (JACQUARD, 1990)

Quanto ao fato do consumo estar semelhante aos níveis de 1979, há várias razões, destacando-se o maior uso do gás natural. Mas o fator mais decisivo, parece ser a diminuição do uso de energia, principalmente em relação ao crescimento do PIB. O país que ilustra bem este processo é os EUA conforme mostrado na tabela 7.3 .

TABELA 7.3
CONSUMO DE PETRÓLEO E ENERGIA NOS EUA

ANO	ENERGIA TOTAL	PETRÓLEO	ENERGIA/PIB	PETRÓLEO/PIB
1970	31,2	13,7	27,8	12,2
1972	33,29	15,32	27,5	12,6
1973	34,52	16,19	27,1	12,7
1974	33,71	15,54	26,6	12,3
1976	34,55	16,34	26,3	12,4
1978	36,28	17,64	25,1	12,2
1979	36,66	17,25	24,7	11,6
1980	35,29	15,89	23,8	10,7
1982	32,92	14,04	22,4	9,5
1984	34,43	14,43	21,2	8,9
1986	34,49	14,96	20,0	8,7
1988	37,27	15,90	20,0	8,5
1990	37,61	15,65	19,5	8,1
1991	37,48	15,34	19,5	8,0

COMENTÁRIOS

Energia total e consumo de petróleo em milhões de barril/dia.

As relações de energia e petróleo por PIB foram calculados em termos de bilhões de dólares de 1982 por trilhão de BTU.

(BECK, 1991)

7.3 PERSPECTIVAS DE PREÇOS PARA O PETRÓLEO

Há diversos enfoques que possibilitam a análise dos mecanismos de estabelecimento do preço do petróleo. Aparentemente a maneira mais simples de abordar este tema, seria explicar a atual sistemática de preços, chamada "netback", conforme já definido no capítulo 3. Estima-se o rendimento obtido com um determinado petróleo em uma refinaria simples, com base no preço dos derivados, calcula-se o preço básico do petróleo.

Apesar de ter se respondido a questão da fixação do preço do petróleo, introduziu-se outra: como varia o preço dos derivados de petróleo? Na realidade estão interligados, e de um modo geral, a variação de preços ocorre primeiro com os derivados, chegando ao petróleo por consequência. Exceção são os conflitos armados envolvendo os grandes produtores de petróleo.

Mas como ambos os preços estão muito interligados, a maioria dos autores tratam do assunto estudando o preço do petróleo. Um exemplo é o estudo "Oil Price Outlook for The 1988-1993 Period" (MACKILLOP, 1990), que analisa o crescimento do PIB e a inflação dos países da "Organização Para Cooperação e Desenvolvimento Econômico"- OCDE, e também a competição entre os países produtores, OPEP e os não OPEP. A conclusão do estudo é

que o preço do petróleo, deve ficar abaixo dos 35 US\$/bbl, porque permitiria boa receita para os produtores, sem no entanto comprometer o crescimento econômico dos países da OCDE, mantendo a inflação em patamar aceitável. O estudo comenta também, que após o primeiro choque o petróleo chegou a custar 11,65 US\$/bbl que corresponde a 26 US\$ de 1989. Por outro lado valores em torno de 50 US\$/bbl, comprometeria o crescimento econômico. O estudo lembra que após o segundo choque o preço do petróleo atingiu 28,00 US\$/bbl, ou seja 47,50 US\$ de 1989.

Um enfoque bastante simples, é o apresentado no artigo "Mixed oil Market signals spur divergent analyses" (OIL & GAS JOURNAL, Oct, 1988), basicamente considera que a elevação do preço do petróleo, provoca uma queda no consumo a nível mundial. Por outro lado, quanto maior for o preço, maior será a venda por parte dos países não integrantes da OPEP, ao contrário, quanto menor o preço, maior é a participação da OPEP. O artigo apresenta um gráfico, mostrando o efeito preço sobre o consumo mundial, mas sem incluir o consumo dos antigos países socialistas, e a produção da OPEP. Para melhor visualização da questão, propõe-se as equações (7.1) e (7.2) para este modelo.

$$DPET = 0,004.PPET^2 - 0,616.PPET + 58,76 \quad (7.1)$$

$$DPET_{OPEP} = -0,024.PPET^2 + 0,043.PPET + 28,97 \quad (7.2)$$

Onde DPET = Demanda de petróleo em 10^6 bbl/dia;

$DPET_{OPEP}$ = Demanda de petróleo da OPEP em 10^6 bbl/d;

PPET = Preço do petróleo em US\$/bbl, US\$ de 1988.

Para a OPEP os principais parâmetros são: a receita com exportação e o controle do mercado mundial. Internamente há divisões na OPEP, países com mais necessidade de divisas forçam os preços para baixo para conseguirem exportar mais. A seguir apresenta-se na tabela 7.4, as projeções de demanda obtidas com as equações (7.1) e (7.2).

TABELA 7.4
PROJEÇÕES COM AS EQUAÇÕES (7.1) E (7.2)

PETRÓLEO US\$/BBL	DEMANDA MUNDIAL 10^6 BBL/D	DEMANDA OPEP 10^6 BBL/D	RECEITA da OPEP 10^6 US\$/D	RELATIVO
10	53,0	27,0	270,0	66,7
12	51,9	26,0	312,3	77,2
14	50,9	24,8	348,1	86,0
16	49,9	23,5	376,2	95,1
18	48,9	21,9	395,4	97,7
20	48,0	20,2	404,6	100,0
22	47,1	18,3	402,6	99,5
24	46,3	16,2	388,3	96,0
26	45,4	13,8	360,5	89,1
28	44,6	11,4	318,0	78,6
30	43,9	8,7	259,8	64,2

O artigo considera que o preço mínimo seria 10 US\$/bbl, para a OPEP e 14 para os demais produtores. Porém, abaixo de 14 a própria comunidade econômica mundial considera que os países

produtores não acertariam suas finanças, podendo desequilibrar a economia mundial. Por outro lado considera que valores em torno de 18,00 US\$/bbl, moeda de 1988, como ideal porque mantem a demanda em um patamar aceitável sem estimular a produção não OPEP.

Apesar da simplicidade, o modelo proposto caracteriza bem os fatores que atuam na fixação do preço do petróleo.

De acordo com a Chevron (Oil & Gas Journal, 1987) os preços nos anos 90 variarão de 20 a 30 US\$/bbl. A OPEP conseguiria manter o controle do mercado até o ano 2000. Haveria então descobertas de novas reservas de petróleo, exploráveis para preços entre 25 a 40. As reservas da OPEP seriam desprezíveis, frente as novas. Ao preço de 35 US\$, serão viáveis petróleos pesados, principalmente do Canadá e Venezuela. A partir de 60 US\$, serão exploradas as "areias oleosas", como as do Canadá.

Concluindo : atualmente o preço do petróleo é controlado principalmente pela OPEP, que não eleva muito o preço, temendo uma recessão mundial e a concorrência de novos campos produtores, ou outros tipos de energia.

7.4 CORRELAÇÕES DE CONSUMO E PREÇOS

Para uma possível estimativa das principais tendências para 1995 pode-se supor uma semelhança com o ocorrido nos últimos anos. Apresenta-se a seguir, na tabela 7.5 a variação do consumo dos principais derivados, em relação ao consumo total de petróleo. Na tabela 7.6 apresenta-se uma série de dados de consumo e preços.

TABELA 7.5
PREÇOS E CONSUMO DE ALGUNS DERIVADOS NOS EUA

ANO	PREÇOS US\$ /BBL					CONSUMO GASOLINA 10 ⁶ BBL/D
	PETRÓLEO PRODUTOR	PETRÓLEO MÉDIO (1)	GASOLINA (1) (2)		DIESEL (1)	
1976	10,80	13,34	16,54	25,79	17,05	7000,00
1977	11,60	14,31	16,92	27,55	19,32	7150,00
1978	12,40	14,38	19,61	28,14	20,58	7380,00
1979	15,80	21,65	29,10	37,92	29,56	7000,00
1980	27,80	33,95	42,75	52,29	40,90	6530,00
1981	30,80	36,52	48,63	57,87	50,14	6520,00
1982	32,80	33,18	44,47	54,43	48,72	6550,00
1983	30,00	28,93	38,85	52,12	45,27	6570,00
1984	27,50	28,46	34,44	50,90	45,82	6700,00
1985	28,60	26,66	34,06	50,48	44,22	6800,00
1986	17,10	13,49	20,07	38,93	35,44	7050,00
1987	17,20	17,65	22,22	39,81	38,01	7100,00
1988	15,40	14,08	21,42	39,73	34,14	7350,00
1989	15,86	17,68	24,52	42,88	36,00	7320,00
1990	20,03	22,23	26,12	47,88	44,60	7200,00

(1) Preço refinaria

(2) Preço ao consumidor

Fonte : (BECK, 1987/1991 ; ANDERSEN, 1990)

TABELA 7.6
CONSUMO MUNDIAL DE DERIVADOS DO PETRÓLEO EM PORCENTAGEM

ANO	% GASOLINA	%DIESEL	% ÓLEO COMBUSTÍVEL	OUTROS
1970	28,82	27,70	28,29	15,19
1973	28,82	28,01	28,11	15,06
1976	29,76	28,17	26,53	15,54
1979	29,15	29,85	24,93	16,07
1982	30,40	30,40	21,22	17,98
1985	31,55	32,47	17,41	18,57
1987	31,75	32,89	16,49	18,87

Fonte : (ANDERSEN , 1990)

Com base na série histórica de 1970 à 1987, cujo resumo apresentou-se na tabela 7.6, obteve-se a equação (7.1) entre o consumo de diesel e gasolina com o preço do petróleo^{7.1}.

$$Y = A + B.T + C.P \quad (7.3)$$

onde : A, B e C constantes ajustadas no modelo ;
Y= consumo porcentual de diesel e gasolina ;
P= preço médio do petróleo ao produtor^{7.2} em US\$/BBL
T= é o tempo em anos a partir de 1970.
Em 1970 , T=0 .

Os parâmetros da equação (7.3), para o diesel e gasolina estão apresentados na tabela 7.7.

TABELA 7.7
PARÂMETROS DA EQUAÇÃO 7.3

EQUAÇÃO 7.1	R ²	F	COEFICIENTES		ERRO
			SÍMBOLO	VALOR	
DIESEL	97,1	211,6	A	27,34	0,18
			B	0,39	0,02
			C	-,043	0,009
GASOLINA	83,3	32,3	A	28,68	0,28
			B	0,236	0,03
			C	-,043	0,001

7.1 Para se obter a correlação usou-se todos os dados entre 1970 e 1987.

7.2 O preço ao produtor do petróleo americano é praticamente igual ao preço médio FOB de Rotterdam. Manteve-se no entanto o preço ao produtor porque todos os demais dados referem-se ao mercado americano.

Os parâmetros de (7.3) mostram o maior crescimento anual da porcentagem de óleo diesel em relação a gasolina (constante B), curiosamente um aumento do preço do petróleo tende a diminuir ligeiramente os percentuais de diesel e gasolina em igual proporção. Isto ocorre porque havendo um aumento brusco no preço do petróleo normalmente aumenta o preço dos dois combustíveis. Outros produtos têm um comportamento mais estático. Exemplificando: o óleo combustível e os produtos para petroquímicas, a longo prazo a demanda será influenciada pelo preço, mas o efeito será mais lento e outros fatores terão influência.

Para se verificar se as tendências apresentadas para o diesel e gasolina estão coerentes com os outros derivados, desenvolveu-se correlações para, os óleos combustíveis e para os demais derivados chamados de outros^{7.3}. A equação (7.4) é a sugerida, os principais parâmetros são mostrados na tabela 7.8.

$$Y = A + BXT + CXT^2 \quad \text{equação 7.4}$$

onde: Y = porcentagem de óleo combustível e de "outros";
A, B, C = constantes ajustadas no modelo.

TABELA 7.8
PARÂMETROS DA EQUAÇÃO 7.4

EQUAÇÃO 7.2	R ²	F	COEFICIENTES		ERRO
			SÍMBOLO	VALOR	
ÓLEO COMBUS- TÍVEIS-	98,4	394	A	28,60	0,456
			B	-,181	0,115
			C	-,034	0,0006
"OUTROS" GASOLINA	81,5	61,7	A	13,85	0,004
			B	0,294	0,0004
			C	0,000	0,000

Pode-se observar a concordância da equação 7.4 com a 7.3 com relação a influência do preço do petróleo. Ou seja o preço do petróleo influencia mais fortemente o consumo de diesel e gasolina. Para o óleo combustível e "outros" a influência não é captada por modelos simples, como o destas equações.

7.5 CONSUMO DE GASOLINA NO MUNDO

Principalmente nos EUA havia um crescimento anual significativo do consumo de gasolina. No entanto, após o segundo choque do petróleo o consumo nos EUA, caiu vertiginosamente. Em seguida com a queda do preço do petróleo voltou a subir.

7.3 São principalmente dos derivados da faixa do GLP, importantes para a produção de alguns produtos petroquímicos e MTBE, naftas petroquímicas e insumos básicos para outras indústrias.

Os EUA têm atualmente uma frota estimada em 141 milhões de automóveis movidos quase que exclusivamente a gasolina. Face ao alto consumo o governo americano desenvolve uma série de programas que visam principalmente a melhoria da qualidade do ar dos grandes centros urbanos, e economizar combustível. Assim cada vez mais exige-se carros com menor consumo de combustível. A tabela 7.9 mostra o consumo máximo exigido dos fabricantes de automóveis por ano em termos absolutos e relativos.

TABELA 7.9
CONSUMO MÁXIMO DE GASOLINA DOS VEÍCULOS AMERICANOS

ANO	KM/L	L/KM	RELATIVO
1975	4,97	0,20	100,0
1980	5,48	0,18	91,2
1985	5,99	0,17	83,5
1989	6,55	0,15	76,3
1990	6,63	0,15	75,4
1995	6,97	0,14	71,7
2000	7,35	0,14	69,0

Fonte : (ULZEMAN, 1990)

Outro ponto interessante é o índice histórico de automóveis por motorista, que é de 840 automóveis por 1000 motoristas. Entendendo-se como motorista todo habitante com idade entre 18 e 65 anos. Algumas estimativas, como a apresentada por George Ulzeman, cita que por volta do ano 2000, o índice histórica teria diminuído para 830 carros por mil motoristas.

Como comentado no capítulo 5 diversos fatores influenciam o consumo de gasolina, no entanto para um mercado como o americano, a grande variável é o preço ao consumidor.

Assim, apesar de se reconhecer a complexidade de um modelo abrangente para os EUA, onde necessariamente deveria-se verificar a influência do preço, renda per capita, crescimento de frota, evolução da frota em termos de consumo de combustível e etc, sugere-se um modelo simples baseando-se no efeito preço e considerando que, como há tendência de crescimento da frota americana, haveria uma tendência de crescimento de consumo. A equação (7.5) relaciona estas variáveis, e na tabela 7.10 apresenta-se os parâmetros .

$$DG_{EUA} = A - B \times P_{bomba} + C \times T \quad (7.5)$$

onde : DG_{EUA} = demanda de gasolina em milhões de barril/dia ;

P_{bomba} é o preço ao consumidor em US\$/barril

T = Tempo em anos, em 1976 $T=0$

Na realidade tentou-se uma série de correlações até se chegar a equação 7.5. Curiosamente nenhuma correlação usando-se preço corrigido propiciou um bom ajuste, só conseguido, usando-se o preço em US\$ corrente. Aparentemente o fator psicológico é mais forte que o econômico. Provavelmente, quando a gasolina é vendida a um preço superior a 1,00 US\$/galão é considerada cara.

Apenas para se poder estimar o consumo de gasolina no mundo usando-se o consumo americano, desenvolveu-se a equação (7.6), cujos parâmetros estão mostrados na tabela 7.10.

$$Y = A + BxT \quad (7.6)$$

onde: Y = logarítmo natural do consumo nos
EUA, dividido pelo consumo no mundo ;
T é o tempo em anos, em 1970 T= 0.

A equação (7.6) mostra a perspectiva de diminuição do consumo relativo de gasolina dos EUA, em relação ao resto do mundo. Isto ocorre porque o consumo dos EUA tende a se estabilizar e há uma tendência de aumento de consumo nos países em desenvolvimento.

TABELA 7.10
PARÂMETROS DAS EQUAÇÕES (7.5) e (7.6)

EQUAÇÃO	R ²	F	COEFICIENTES SÍMBOLO	VALOR	ERRO	TSTUD.	PROB
(7.5)	88,24	45,3	A	7926	133,3	59,46	0,000
			B	-29,26	3,27	-9,14	0,000
			C	44,79	7,53	5,94	0,001
(7.6)	82,10	64,2	A	0,542	0,005	99,59	0,000
			B	-,004	0,0004	-7,93	0,000

Com relação a demanda de gasolina alguns aspectos devem ser ressaltados. O primeiro é a entrada dos produtos oxigenados como componentes da gasolina. Fato que ocorrerá de maneira significativa na Europa e nos Estados Unidos^{7.4}.

Assim a equação (7.3), como os modelos mais completos de demanda de gasolina, referem-se sempre ao combustível para veículos do ciclo otto. Desta forma a demanda de combustível do ciclo otto, derivado diretamente do petróleo, deve levar em conta os outros combustíveis, por uma relação do tipo (7.7)

$$DGAS_{PET} = DGAS_{TOTAL} - DGAS_{SUBS} \quad (7.7)$$

Ou seja, a demanda de gasolina derivada do petróleo (DGAS_{PET}) é obtida da demanda total (DGAS_{TOTAL}) subtraindo-se, a demanda de todos os produtos que substituíram a "gasolina" (DGAS_{SUBS}).

Deve-se considerar também que, principalmente para os EUA e outros países cujo preço da gasolina ao consumidor comparativamente é baixo, a introdução de componentes oxigenados, ocasionará o aumento do preço, com repercussões na demanda

7.4 No capítulo 4 comentou-se este assunto, inclusive apresentou-se algumas estimativas de consumo de produtos oxigenados para os próximos anos.

do combustível, como explicado pela própria equação (7.5). Segundo o artigo "U.S. refiners move into another challenging technical era" (HALL, 1991), para se atender as 98 áreas americanas, consideradas críticas quanto ao excesso de ozônio na atmosfera, que serão abastecidas com as gasolina reformuladas, serão necessários 554.000 bpd, de produtos oxigenados como o MTBE, ou seja aproximadamente 7% da demanda total de gasolina.

O referido artigo estima que o custo de produção da gasolina se elevara em 0,10 a 0,15 US\$/galão, ou seja de 10 a 15% do custo da gasolina, que sera repassado ao consumidor.

Em termos de cenários futuros para 1995, se admitirmos o preço da gasolina de 42,00 US\$/bbl, haveria a elevação de 4,2 US\$ devido aos oxigenados, a demanda prevista por (7.5) é 7425000 BBL/d, descontando-se a demanda de oxigenados, chegaria-se a demanda de gasolina derivada do petróleo, 6871000 bbl/d.

Outro fator de certa forma já comentado, é a tendência de se diminuir o uso do automóvel, preferindo-se outros meios de transporte. Nos EUA, maior símbolo da civilização do automóvel, começa a haver uma crítica ao uso intensivo do automóvel. Um exemplo é a atual postura de Los Angeles - Califórnia que tem como meta tornar-se a cidade mais bem servida de transporte público da América. Um dos motivos dessa mudança de objetivos, deve-se ao reconhecido sucesso de outras cidades da Califórnia, que investiram em metrô e redes de ônibus, troleibus e bondes, notadamente São Francisco, San Diego, San José e Sacramento.

Los Angeles, sempre foi considerada a cidade símbolo do transporte privado, porém face a dificuldade de resolver o problema de trânsito e de poluição da cidade, resultante de uma frota de 5,6 milhões de automóveis, 2 milhões de veículos comerciais leves, apesar de ter cedido 28% da área urbana para rodovias e 38 % para estacionamento, mudou radicalmente seu planejamento futuro, optando pelo transporte coletivo (Alouche, 1992).

Entendemos que muitas cidades nos EUA, seguirão Los Angeles. Ou seja o mito do automóvel como fator de bem estar social foi fortemente atingido. Possivelmente outros países, estão sofrendo os mesmos problemas e adotarão a mesma solução.

A equação (7.5) expressa um cenário tendencial. Porém é de se esperar que havendo mudanças no comportamento das comunidades, como a comentada para a cidade de Los Angeles, a demanda de gasolina será menor que a projetada.

7.6 PREÇO DA GASOLINA E DO ÓLEO DIESEL

A seguir apresenta-se alguns modelos simplificados, que explicariam o preço da gasolina ao atacado, ao consumidor, o preço do diesel em função do preço do petróleo. Propõe-se as equações (7.8), (7.9) e (7.10). Com base nos parâmetros de ajuste destas equações, apresentados nas tabelas 7.11, 7.12 e 7.13 escolhe-se a melhor equação para cada produto.

$$P = A + BxPpet + C/Ppet \quad (7.8)$$

$$P = A + BxPpet \quad (7.9)$$

$$P = BxPpet + Cx(Ppet)^2 \quad (7.10)$$

onde : P = preço do derivado em US\$/bbl;

Ppet= preço do petróleo em US\$/bbl.

Os preços dos derivados estão correlacionados ao preço do petróleo. Sabe-se também que quando o preço do petróleo é baixo, as margens de refino são positivas. Ao contrário quando o preço do petróleo é alto, a redução do consumo dos derivados leva o refino a uma situação de competição, tornando as margens de refino negativas. Ou seja subindo o preço do petróleo força o preço dos derivados - a equação (7.9) explica esta tendência - porém o preço não mais se eleva proporcionalmente ao preço do petróleo. As equações (7.8) e (7.10) tentam captar este efeito.

TABELA 7.11
PARÂMETROS DAS EQUAÇÕES DO PREÇO DO ÓLEO DIESEL

PARÂMETRO	EQUAÇÃO 7.8	EQUAÇÃO 7.9	EQUAÇÃO 7.10
A	20,827	3,59	0
B	0,652	1,023	1,291
C	-171,355	0	-0,0012
ERRO A	14,947	1,87	0
ERRO B	0,332	0,08	0,1015
ERRO C	149,15	0	0.0003
PROB T A	0,1909	0,07	0
PROB T B	0,0713	0,00	0,000
PROB T C	0,2714	0	0,6424
R ²	92,74	91,00	99,0
F	82,95	160,97	760,20

Na tabela 7.11 pode-se observar que o melhor ajuste ocorre com a equação 7.10. Teóricamente é também a equação que melhor representaria o problema. A seguir na tabela 7.11 mostram-se os parâmetros das mesmas equações obtidos para o preço ao atacado da gasolina.

TABELA 7.12
PARÂMETROS DA CORRELAÇÃO DO PREÇO DA GASOLINA AO ATACADO

PARÂMETRO	EQUAÇÃO 7.8	EQUAÇÃO 7.9	EQUAÇÃO 7.10
A	-7,34	0,52	0
B	1,45	1,279	1,30
C	79,05	0	-0,33/100
ERRO A	10,61	1,29	0
ERRO B	,235	0,0055	0,007
ERRO C	105,86	0	2,54/1000
PROB A	,50	,64900	0
PROB B	,000	,00000	,00000
PROB C	,460	0	,89500
R ²	99,70	97,40	99,69
F	256,07	528	2258,51

Na tabela 7.12 pode-se observar que apesar do menor R², a equação (7.9) é a mais confiável, por apresentar menores erros dos coeficientes.

TABELA 7.13
PARÂMETROS DA CORRELAÇÃO DE PREÇO DA GASOLINA AO CONSUMIDOR

PARÂMETRO	EQUAÇÃO 7.8	EQUAÇÃO 7.9	EQUAÇÃO 7.10
A	61,368	16,25	0
B	,197	1,178	2,75
C	-453,74	0	-0,0028
ERRO A	27,506	3,61	0
ERRO B	0,611	0,155	0,0187
ERRO C	274,00	0	6,56/1000
PROB A	0,0439	0,0025	0
PROB B	0,0000	0,0000	0,0000
PROB C	0,172	0	0,0000
R ²	83,81	80,40	99,00
F	33,64	57,44	690,46

Pode-se observar que a equação (7.10) explica bem o preço da gasolina ao consumidor.

Na realidade entende-se que a equação (7.10) explica melhor o fenômeno, preço de um derivado em função do preço do petróleo. Sendo uma equação do segundo grau mostra a tendência do aumento do preço do derivado, face o aumento do preço do petróleo, porém, com um termo negativo que vai limitando o preço. Este termo negativo explicaria porque quando o preço do

petróleo sobe tende a tornar a margem de refino negativa. Isto não ocorreria, se os aumentos dos derivados fossem lineares com o preço do petróleo. Neste caso a margem de refino também aumentaria com o aumento do preço do petróleo.

Apesar de se considerar a equação (7.8), como a melhor, para o preço da gasolina ao atacado o erro médio do termo de preço ao quadrado ficou bastante alto.

A seguir, na tabela 7.14 usando-se as equações anteriores projeta-se o preço dos derivados para diferentes preços do petróleo.

TABELA 7.14
PROJEÇÕES DE PREÇOS DO DIESEL E GASOLINA
EM FUNÇÃO DO PREÇO DO PETRÓLEO US\$/BBL

PETRÓLEO	DIESEL	GASOLINA ATACADO		GASOLINA CONSUMIDOR
(EQUAÇÃO)	(7.10)	(7.9)	(7.10)	(7.10)
15	19,10	19,70	19,43	34,95
20	25,34	26,10	25,86	43,80
25	31,52	32,49	32,29	51,25
30	37,65	38,89	38,70	57,30
35	43,75	45,28	44,59	61,95
40	49,72	51,68	51,47	65,20
MÁX PET	538	INFINITO	1970	49,10
MÁXIMO	347	INFINITO	1396	67,54

Os resultados da tabela 7.14 indicam corretamente tendências, porém os modelos deveriam ser baseados em uma quantidade maior de dados, inclusive de uma única fonte. Aparentemente o melhor modelo é o do preço da gasolina ao consumidor, porque baseia-se em dados de uma única fonte. Mas acreditamos que o efeito do termo ao quadrado do preço do petróleo esta muito alto, tornando baixo o preço máximo estimado^{7.5}.

Ressalta-se que, do ponto de vista de indicar tendências, o modelo está bom porque a gasolina se vendida ao consumidor a 67,5 US\$/bbl, ou seja 1,61 US\$/galão seria, considerado um preço alto, porém suportável, como ocorreu logo após o segundo choque do petróleo. Neste aspecto entendemos que o modelo estimou um valor baixo para o maior preço da gasolina.

Com (7.5) pode-se estimar, que um aumento de 1,00 para 1,67 US\$/galão, reduziria o consumo de gasolina em 843.000 bbl/d causando ociosidade, concorrência e margem de refino negativa.

7.5 Como a equação (7.10) é do segundo grau, estimou-se o preço do petróleo que propiciaria o maior preço do derivado, no caso a gasolina. Achou-se a primeira derivada da função, a raiz desta equação é o preço do petróleo que leva ao máximo preço. Este foi calculado pela própria equação (7.10).

Tanto para o diesel como para a gasolina, entende-se que a equação (7.10) captou bem as tendências, mas os preços estimados devem ser aceitos com reserva. O melhor exemplo disto são os preços máximos estimados para o diesel e gasolina ao atacado, que além de muito altos, são menores que o preço do petróleo. Pode-se até admitir o refino operando com margens negativas, mas subsidiando fortemente seus dois principais produtos, é pouco provável.

Outro aspecto interessante que pode ser observado na tabela 7.14, é a diferença de preço ao atacado e ao consumidor da gasolina. Esta diferença pode ser entendida como estimativa dos impostos pagos pela gasolina em diferentes cenários.

7.7 INFLUÊNCIAS NO PREÇO DO PETRÓLEO

Nos itens anteriores procurou-se verificar a influência do preço do petróleo no diesel e gasolina. Agora procura-se verificar como esses preços influenciam o preço do petróleo. Uma outra tentativa é verificar se no período de vigência do sistema de preços chamado de "Golfo Plus"^{7.6} era diferente em relação ao atual sistema de preços^{7.7}. Para verificar isto mostra-se a relação de preços de 1960 a 1970 na tabela 7.15.

TABELA 7.15
PREÇOS NO PERÍODO DE 1960 A 1971

ANO	SEM.	DIESEL	GASOLINA	O.COMB.	PETRÓLEO NOMINAL	MARGEM REFINO	PETRÓLEO VENDEDOR
1960	2	3,15	2,94	1,91	2,47	0,36	2,11
1961	1	3,19	2,90	1,93	2,41	0,34	2,07
1961	2	3,35	2,82	1,79	2,50	0,34	2,16
1962	A	3,53	2,69	1,78	2,54	0,34	2,20
1963	A	3,70	2,27	1,79	2,49	0,31	2,07
1964	A	2,81	2,18	1,74	2,13	0,31	1,82
1965	A	2,39	2,23	1,81	2,02	0,32	1,70
1966	A	2,60	2,48	1,72	2,12	0,35	1,77
1967	1	2,44	2,56	1,70	2,05	0,32	1,73
1967	2	3,86	4,66	2,10	3,24	0,32	2,92
1968	A	3,40	3,02	1,76	2,53	0,31	2,22
1969	A	3,11	2,31	1,51	2,04	0,31	1,73
1970	1	2,77	2,10	2,10	2,24	0,31	1,93
1970	2	3,86	2,73	3,33	3,19	0,31	2,88
1971	1	4,33	3,03	3,28	3,43	0,31	3,12

7.6) Comentado no capítulo 3. Entre 1930 e 1967 aproximadamente, vigorou entre as grandes empresas de petróleo, um acordo que valorizava o petróleo pelo rendimento dos produtos e mais o custo de transporte fictício até o golfo do México - EUA e uma margem de refino previamente estabelecida.

7.7) atual sistema de preços assemelha-se bastante do conceito "Netback", isto é, cada petróleo é valorizado aproximadamente pelos derivados que pode produzir em uma refinaria simples.

Comentários da tabela 7.15 :

Na segunda coluna o número 1 refere-se ao primeiro semestre do ano, e o 2 ao segundo, a letra A a média anual.

Os preços são todos em US\$/bbl.

O vendedor do petróleo além de garantir a margem de refino estipulada, deveria arcar com os custos de transporte.

Fonte : (ALDEMAN, 1972)

Procurou-se ajustar o preço do petróleo em função do preço da gasolina e do óleo diesel alternativamente, não se encontrando uma relação satisfatória. Isto só foi conseguido quando a correlação foi feita simultaneamente com o preço dos dois produtos, obtendo-se como resultado a equação (7.11) cujos parâmetros são apresentados na tabela 7.16.

$$PPET = A + B \times PDIESEL + C \times PGASOLINA \quad (7.11)$$

onde : A,B,C = constantes ajustadas pelo modelo ;
P = preços em US\$/bbl.

TABELA 7.16
PARÂMETROS DA EQUAÇÃO (7.11)

PERÍODO	1961 A 1970	1973 A 1988
SISTEMA DE PREÇOS	GOLFO PLUS	NETBACK.
A	-0,3048	-0,3589
B	0,1371	0,6256
C	0,6528	0,1846
ERRO A	1,124	0,285
ERRO B	0,144	0,099
ERRO C	0,119	0,091
PROBABILIDADE A	0,795	0,235
PROBABILIDADE B	0,367	0,006
PROBABILIDADE C	0,001	0,064
R ²	97,59	87,01
F	262,66	40,19

Os coeficientes da equação 7.11 mostram a grande influência do preço da gasolina no preço do petróleo no período de 1961 a 1970.

Para o período atual fica evidenciado a maior influência do óleo diesel em relação a gasolina. Pode-se observar quase uma inversão nos coeficientes B (diesel) e C(gasolina) nos dois períodos.

A tabela 7.11 é uma forte evidência, da hipótese formulada no capítulo 3, sobre a terceira fase do refino , quando o produto de maior demanda e importância é o óleo diesel.

7.8 CONCLUSÕES

Neste capítulo procurou-se consolidar o conceito da ocorrência de "choques" de petróleo, apenas quando as reservas ficam muito baixas. Os choques ocorreram, quando a relação reservas conhecidas, eram suficientes apenas para onze anos. Face ao aumento das reservas conhecidas, e com a introdução de novas tecnologias na prospecção e produção de petróleo, fica afastado a hipótese de um novo choque de petróleo consistente. Ou seja um aumento brusco de preços, que consiga se manter por período de anos como foi o segundo choque.

Outro aspecto conclusivo é a importância da OPEP na fixação dos preços do petróleo. Porém a OPEP convive com o compromisso de obter recursos com o petróleo, porém sem elevar o preço em demasia, para não perder o mercado.

Verificou-se também a grande influência que o preço da gasolina têm sobre a demanda, para o mercado americano. Para o futuro, não se espera tendências ao aumento de consumo.

Mostrou-se a correlação entre o preço do petróleo e o preço da gasolina e diesel. Assim por meio de modelos simples pode-se prever o preço da gasolina e do diesel, o consumo destes derivados, em função do preço do petróleo.

BIBLIOGRAFIA

ALDEMAN, M.A. The World Petroleum Market. The Johns Hopkins University Press. 1972 EUA .

ANDERSEN A. World Oil Trends 1989- 1989 . Cambridge Energy Reserch Associates. Arthur Andersen & Co., Houston -EUA, 1990.

BECK R. J. - 1987 Oil & Gas Journal 27.07.87 p. 33 - 43
BECK R. J. - 1991 Oil & Gas Journal 28.01.91 p. 49 - 57
BECK R. J - 1991 Oil & Gas Journal 29.07.92 P. 49 - 69

HALL , J.R. . U.S. refiners move into another challenging technical era . Oil & Gas Journal, 21.10.91 pag 58 , 59 .

JACQUARD, M. P. influence Du Progrès Technologique Sur L'Offre de Pétrole. Pétrole et Techingues n° 357 - Jun- Jul 1990, pg 9 a 17.

Mackillop , A. . Oil Price Outlook for the 1988-1993 Period. International Journal of Energy Reserch. Vol.14, pag 215 a 232 - 1990 . John Wiley & Sons Ltd.

OIL & GAS JOURNAL . Chevron : OPEC to dominate to 2000 . Oil & Gas Journal, 26.10.1987 pag 86,87 .

OIL & GAS JOURNAL . Mixed oil market signals spur divergent analyses. Oil & Gas Journal , 3.10.1988 pag 31,32 .

Peter,L.A. O "boom " dos transportes públicos na Califórnia ; Folha de São Paulo, 2,09,1992 , pag 3-3.

CAPÍTULO VIII

PROGRAMAS DE AJUSTE DA DEMANDA DE ÁLCOOL E DE DERIVADOS DE PETRÓLEO

8.1 INTRODUÇÃO

O objetivo desta seção é propor alguns programas para tornar mais eficiente e moderno o setor energético brasileiro, principalmente no consumo de combustíveis líquidos e gás.

Ao nosso ver, orientar o setor energético para ser moderno significa, contemplar as principais tendências mundiais, inclusive quanto ao uso das tecnologias mais modernas e contemplando as questões ambientais.

Do ponto de vista da eficiência o setor energético deve atender as necessidades da sociedade, da maneira mais econômica, ou seja, levando em conta os custos dos energéticos utilizados, bem como as perspectivas de custos para médio e longo prazo.

Um aspecto muito importante é a grande quantidade de recursos financeiros envolvidos no setor energético, e evidentemente, além dos aspectos técnicos, há muitos interesses de grupos e segmentos da sociedade. Por outro lado, do ponto de vista do planejamento energético, orientar o setor para uma situação otimizada é muito importante para a sociedade face a grande correlação dos preços dos energéticos com o desenvolvimento de um país. É necessário portanto, que se tenha uma visão global dos assuntos tratados. Os capítulos anteriores trazem uma série de análises, tanto do mercado brasileiro, do internacional, do "status" do refino do petróleo, e dos principais problemas ambientais. Todos esses aspectos anteriormente abordados, permitirão que se façam algumas propostas.

Para facilitar a análise das propostas, do ponto de vista ambiental, considera-se dois tipos de problemas. O primeiro é a qualidade do ar das grandes cidades, prejudicada pela emissão de poluentes, principalmente do setor transporte, que em última análise, prejudica os habitantes dessas regiões afetadas. Nos EUA, e Europa, é a grande preocupação atual. Principalmente quanto ao teor de monóxido de carbono, e de ozônio. Pode-se dizer que este tipo de problema já está incorporado ao planejamento estratégico dos países.

Há outro tipo de questão ligado por exemplo ao equilíbrio global da terra, destacando-se neste caso a preocupação com efeito estufa. Este tipo de questão apesar de estar sendo bastante discutido a nível científico, ainda não

desencadeou nenhuma ação concreta^{8.1}.

É interessante observar que as duas questões, podem ter soluções diferentes. Por exemplo, o uso de veículos elétricos, pode ser uma boa solução para os problemas ambientais de uma cidade. No entanto, se a energia for gerada por combustíveis fósseis, não há alteração significativa na questão efeito estufa.

Ressalta-se, que a economia de energia, ou racionalização do uso, contempla todas as preocupações modernas. O menor consumo de energia, leva a menor emissão de poluentes, diminui a emissão de gases do efeito estufa, contempla a preocupação com o término das fontes de energia não renováveis e finalmente torna a economia mais competitiva.

Do ponto de vista do planejamento energético, deve-se pensar de forma global, buscando o atendimento das demandas dos diversos energéticos da forma mais econômica e menos impactante para o meio ambiente. Por exemplo, em relação ao setor petróleo, não se deve ter como meta substituir apenas um derivado, porém deve-se almejar diminuir a demanda global de petróleo.

A seguir comenta-se o uso dos principais energéticos, propondo-se uma maneira de tornar o abastecimento mais econômico.

8.2 COMBUSTÍVEIS DO CICLO OTTO.

Este é o segmento mais polêmico. Isto porque envolve diversos interesses, e, conceitualmente estão havendo as maiores mudanças a nível mundial, como sera resumido a seguir.

8.2.1 PRINCIPAIS CONSIDERAÇÕES DA SITUAÇÃO ATUAL.

O aspecto mais importante, é a existência do PROÁLCOOL, que tem pontos positivos principalmente por incentivar a atividade econômica, contribuindo para o PIB. No entanto, como foi mostrado no capítulo 6 desta dissertação, o programa recebe uma série de subsídios e face ao maior preço do álcool pago ao produtor, deixa-se de arrecadar impostos ou subsídios para outros produtos.

Sob o aspecto estratégico, o programa esta equivocado, porque incentiva um consumo energético que começa a ser criticado em todos os países desenvolvidos, até mesmo nos EUA, como comentado no capítulo 7. Ademais hoje pesquisa-se outras tecnologias que permitam tornar os automóveis mais eficientes. Exemplo disto são os novos motores dois tempos, praticamente todas as montadoras já tem protótipos testados que devem ser comercializados a partir de 1994. Já existem exemplares dos FIAT Uno e o

8.1 Hoje nos EUA incentiva-se o uso de caldeiras utilizando-se a tecnologia de leito fluidizado, para óleo combustível, coque de petróleo e carvão. Esta tecnologia diminui a formação de NO_x , e permite facilmente a lavagem dos gases com substâncias alcalinas, eliminando dos gases, os compostos de enxofre.

Ou seja, com o uso dessa tecnologia, mostra-se a preocupação em combater os efeitos nocivos dos gases ácidos, mas não se altera a emissão de CO_2 , ao qual se atribui a maior contribuição no chamado efeito estufa.

Ford Fiesta. Segundo testes efetuados, o FIAT Uno, em circuito urbano consome apenas 69% do combustível gasto por um veículo idêntico a quatro tempos. Em estradas, o veículo a dois tempos consome 89% do combustível (Quattroruote, 1992).

A maioria dos países desenvolvidos, estão calculando os pesados custos sociais causados pelo uso intensivo do automóvel, estão incentivando o transporte coletivo e o uso de pequenos automóveis. Recentemente no 64º Salão do Automóvel de Turin-Itália, os aspectos ambientais predominaram, sendo que o lançamento de maior impacto, foram pequenos veículos, de 704 cc., tendo uma versão com motor elétrico (Folha de São Paulo, 3 de maio de 1992 pag 9.3).

Um exemplo do tipo de questionamento que vem sendo feita ao uso dos automóveis é apresentado na tabela 8.1

TABELA 8.1
CUSTOS DIVERSOS DO TRANSPORTE RODOVIÁRIO NA EUROPA

ITEM	% DO PIB
Poluição (problemas de saúde)	0,7 a 1,5
Congestionamentos	2,6 a 3,1
Acidentes	2,5
total	5,8 a 7,1

Fonte : (TASCHER, 1991)

A tabela 8.1 é apenas ilustrativa, e portanto deve ser vista com cuidado. A OCDE, estima em 5% do PIB os custos não internalizados do transporte rodoviário, segundo a mesma fonte bibliográfica, este valor seria o mínimo. Esses custos devem ser pagos pelos usuários, principalmente na forma de pedágios em rodovias, impostos sobre o uso de veículos, ou seja o equivalente ao IPVA e principalmente na forma de impostos sobre os combustíveis (TASCHER, 1991).

Há ainda outros custos, por exemplo o do uso do território, na Europa estima-se que a Bélgica já ocupou cerca de 4,7 % do território com estradas e rodovias, similarmemente o Japão ocupou 2,7% e na média a Europa, 1,3% .

Ainda comentando os dados da tabela 8.1, na Europa considera-se, que a probabilidade de haver acidente com um automóvel seja 125 vezes maior que para os usuários de trens.

Quanto ao item congestionamento, o valor apresentado pode parecer alto, mas apenas para a cidade de Londres, a Confederação da Indústria estima que o congestionamento, custa 17 bilhões de dolares por ano para a comunidade de negócios.

O trânsito das grandes cidades afeta seriamente os países mais desenvolvidos. O equacionamento deste problema provocará a diminuição do consumo de combustíveis. Para caracterizar melhor esta afirmação retorna-se ao exemplo de Londres. O governo está prevendo que até o ano 2000 haveriam mais 600.000 carros nas ruas, agravando ainda mais os problemas de congestionamentos. Face a isso, estava propondo a construção de novas avenidas e alargamento das existentes, consumindo recursos da ordem de 20 bilhões de dolares até o ano 2000. No entanto os grupos ecológicos urbanos de Londres estão pedindo o incentivo ao uso

Pelo lado do refino, pode-se dizer que a produção de gasolina é de certa forma compulsória, porque é o principal produto das unidades de craqueamento catalítico. Os petróleos nacionais, têm alto teores de gasóleo, ou seja produzem bastante gasolina. Outro aspecto é a produção de GLP. O Brasil é o maior comprador mundial de GLP, este produto é obtido da mesma unidade, que é produzida a gasolina, ou seja o craqueamento catalítico. Estes conceitos serão mostrados de maneira simplificada no modelo proposto para o refino, seção 9.2 desta dissertação.

Além dos aspectos mencionados, caso se mude radicalmente o parque de refino do Brasil, pela introdução de unidades de hidrocrackeamento de pesados (esquema de refino 3) os custos de produção do diesel serão altíssimos, o mercado interno de gasolina sendo baixo, não absorvera os aumentos de custos que seriam repassados aos outros produtos. Isto é, elevaria-se, do GLP, diesel, naftas petroquímicas, óleo combustível.

Sobre este aspecto haveria a necessidade de se estudar a influência no crescimento do PIB, dos preços dos produtos anteriormente citados. Ou seja será que a contribuição do PROÁLCOOL, ao PIB conseguida com subsídios, globalmente não provoca uma diminuição no PIB.

Faça a todos os aspectos comentados do mercado interno e externo, acreditamos que o objetivo para os combustíveis do ciclo otto, seja, evitar o desequilíbrio entre a oferta e a demanda. Assim, vai se exportando os exedentes de gasolina, porém tendo em vista que o mercado é incerto. Para o PROÁLCOOL, incentivaria-se o aumento de produtividade e a redução das várias formas de subsídios. Assim o crescimento da oferta de álcool só ocorreria pelo aumento da produtividade, tanto da parte agrícola quanto industrial. Por outro lado não deve ser incentivado a entrada de outros combustíveis, neste segmento. Ou seja, não deve ser incentivado o uso do gás natural em veículos leves, salvo situações muito especiais^{8.3}.

Para o melhor desenvolvimento do assunto, considera-se necessário, introduzir o conceito de flexibilidade, ou seja qual é a capacidade de um determinado sistema de suprimento de se adaptar as condições reais de demanda. Por exemplo, no caso dos combustíveis do ciclo otto, quanto de gasolina pode-se exportar, qual é o percentual exportável, além do planejado. Esta é a flexibilidade. No caso do álcool, projetada uma determinada demanda, se esta for superior, como se abastece o mercado? Atualmente faz-se por diminuir o percentual de álcool na gasolina e importando metanol. Como não há exportações significativas para o álcool, a situação mais cômoda para os produtores, é manter uma alta expectativa de demanda, diminuindo-se o risco de sobrar o produto, e uma eventual falta de álcool passa a ser um problema

8.3 Deve-se considerar que qualquer combustível entrando para este segmento, provocara uma exportação de gasolina, com os problemas já comentados. No entanto há situações, que podem justificar o uso de qualquer combustível. Por exemplo, imagina-se uma região produtora de gás como o interior da Amazônia, o custo de transporte, para o álcool ou gasolina é alto, assim qualquer solução regional, incluindo-se o gás, pode ser interessante para a economia nacional.

nacional, envolvendo outros segmentos externos ao setor, por exemplo a PERTROBRÁS importando álcool e metanol.

Convém ressaltar mais uma vez, que a falta de álcool contraria os princípios da criação do próprio PROÁLCOOL, porque cortando-se o álcool da gasolina, acredita a CETESB, sem haver nova regulamentação dos carros, estes emitirão mais monóxido de carbono, piorando a qualidade do ar nas cidades. Importando-se metanol, onera-se a balança de pagamentos, entre outras razões, porque em termos energéticos, o metanol é mais caro que a gasolina.

Assim recomenda-se que o setor produtor de álcool seja planejado por meio de cotas, por unidade produtora. Essas cotas seriam fixadas a cada dois anos, aceitando-se um desvio igual a flexibilidade do setor, como será comentada nos próximos itens. Assim superando-se a cota além do percentual de flexibilidade pactuado, não haveria a obrigação de ser comprado o álcool, podendo o produtor utilizá-lo de outra forma. Poderia ser exportado, ou usado na substituição de diesel naquela usina. Por outro lado não sendo cumprida a cota estabelecida, o produtor terá sua cota diminuída na próxima safra. Caso houvesse um planejamento de médio prazo poderia-se atuar na oferta de veículos a álcool. Para este planejamento pode-se adotar a produção de álcool da safra 91/92, de 12 milhões de litros, ou 207.000 BPD. Os efeitos da manutenção dessa produção será comentado no capítulo 9 desta dissertação.

8.2.3 INCENTIVO À COMPETITIVIDADE DO SETOR ÁLCOOL

Atualmente existem, usinas modernas cujo custo de produção do álcool é bem menor que outras, normalmente mais antigas que se utilizam de tecnologia ultrapassada. No entanto o preço do álcool ao produtor é fixado tendo em vista o maior custo de produção. Assim garante-se uma lucratividade mínima para as usinas antigas, que deveriam ser melhoradas fazendo-se investimentos. As usinas modernas ficam em situação privilegiada em relação a outras atividades industriais.

Apenas com o objetivo de se quantificar as disparidades citadas, observa-se que no próprio estado de São Paulo, há disparidades entre as usinas produtoras de álcool, como mostrado na tabela 8.3.

TABELA 8.3
CUSTOS DE PRODUÇÃO DO ÁLCOOL PARA SÃO PAULO EM 1983

MENOR VALOR	2,47	CZ/L
MAIOR VALOR	3,15	"
MÉDIA	2,72	"
DESVIO PADRÃO	0,23	"

Fonte : (MIYAKE, 1986)

Voltando a questão da modernidade do setor energético brasileiro, é necessário abaixar os custos de produção do álcool, para que se torne mais competitivo em relação a gasolina e para que a atividade sobreviva com menor subsídio. Sugere-se que o

álcool seja pago pela média mais o desvio padrão até 1995 e daí por diante pela média dos custos de produção das usinas.

Caso esta medida seja adotada, permitiria a redução de 14% do preço álcool, estimativa baseada nos dados da tabela B.34. Assim haveria uma economia anual, até 1995 de 737 milhões de dólares por ano, tomando-se como base o atual preço do álcool.

Deve-se verificar com atenção o número apresentado. O aumento da produtividade do setor é a medida mais importante para o setor dos combustíveis do ciclo otto. A economia que poderia ser atingida, é bastante volumosa, tratando-se de uma arrecadação direta do estado brasileiro, que poderia ser utilizado para outras atividades, por exemplo melhoria do transporte coletivo.

B.2.4 SIMILARIDADE DOS VEÍCULOS À GASOLINA COM OS MODELOS À ÁLCOOL - INJUSTIÇA FISCAL

Como comentado anteriormente, há consenso a nível mundial, da necessidade dos automóveis, pagarem impostos seja do tipo IPVA, ou via combustíveis. No entanto o carro à álcool apesar da similaridade com o modelo a gasolina, recebe uma série de incentivos. Qual é a justificativa?

No início do PROÁLCOOL, justificava-se o incentivo, pelo fato do petróleo ser importado e assim comprometer as divisas do país. Hoje abre-se a importação de uma série de produtos, ou seja, a preocupação com balança de pagamentos parece ceder lugar a idéia de integração à comunidade internacional, e uso dos recursos mais baratos, independentemente do lugar onde foi produzido. Em outras palavras, pode-se dizer que o protecionismo fiscal está cedendo lugar aos conceitos de integração econômica e competitividade. Por outro lado o maior consumo de álcool, não reduz a importação de petróleo, hoje determinada principalmente pelo óleo diesel, apenas aumenta-se a exportação de gasolina. Em resumo o governo deixa de arrecadar cruzeiros, para obter dólares pela exportação. Acreditamos que uma outra atividade, industrial ou agrícola, se recebesse tão fortes subsídios, também poderia ser exportado^{B.4}.

Outro aspecto que poderia justificar o subsídio dado ao álcool, seria a preocupação ambiental. Essa questão pode ser analisada sobre dois aspectos. O primeiro é a preocupação com o efeito estufa, relacionado ao uso de fontes de energia não renováveis, mas esta ligada também a outros fatores como, tipo de atividade agrícola, atividade pecuária, desflorestamento e etc.

B.4 Foge ao escopo deste trabalho, no entanto, consideramos que seria muito oportuno fazer algumas comparações, em termos de benefícios indiretos propiciados pela produção de álcool, com outras atividades, por exemplo uma industrial, e uma agrícola. Assim se a produção de carros recebesse um forte subsídio, por exemplo, o IPI fosse zerado, com a diminuição do preço de exportação e do preço no mercado interno. Em quanto aumentariam as exportações, qual a geração de empregos que essas medidas provocariam.

Dalí, como apresentado na tabela 4.3, o Brasil consumir cerca de 0,5% do total mundial de combustível fóssil, e emitir cerca de 10,5% de gases causadores do efeito estufa. Ou seja, esta questão é bastante complexa. No Brasil não pode ser analisado apenas como resultante da queima de combustíveis fósseis. Entende-se também que países com alto consumo de energia, como é o caso dos EUA, Japão e Alemanha e com a economia em boa situação, deveriam introduzir medidas para minimizar a emissão de gases relacionados ao efeito estufa.

O outro ponto a ser abordado são as emissões dos gases. Sabe-se que altos teores de monóxido de carbono (CO), é indesejável, o mesmo ocorrendo com os óxidos de nitrogênio (NO_x). Outro produto indesejável na atmosfera são os hidrocarbonetos (HC). Quando surgiu o carro à álcool, emitindo menos poluentes, que seus equivalentes à gasolina, os órgãos ambientais, ficaram satisfeitos e incentivaram o uso do álcool. Hoje no entanto, como o problema de poluição está generalizado, e é mais grave nos países desenvolvidos, o carro a gasolina foi melhorado, recebendo um projeto mais adequado, com novos equipamentos como os canister, a injeção eletrônica, os catalisadores ou conversores dos gases de combustão, e assim, o carro a gasolina é similar ao carro à álcool, em termos de emissões. Um tratamento fiscal diferenciado, é portanto preconceituoso. A seguir mostra-se na tabela 8.4, como a emissão dos dois tipos de veículos está evoluindo.

TABELA 8.4
EMISSIONES VEICULARES EM G/KM

ANO	COMENTÁRIO	ÁLCOOL			GASOLINA		
		CO	HC	NO _x	CO	HC	NO _x
83	MODELOS ATE 1983	18,0	1,6	1,0	33,0	3,0	1,4
85	MOD. DE 84 E 85	16,9	1,6	1,2	28,0	2,4	1,6
87	MOD. DE 86 E 87	16,0	1,6	1,8	22,0	2,0	1,9
88	MODELOS DE 88	13,3	1,7	1,4	18,5	1,7	1,8
89	MOD. DE 89 BRASIL	12,8	1,6	1,1	15,2	1,6	1,6
89	MÁXIMO EUA	2,2	0,26	0,63	2,1	0,26	0,63
92	MÁXIMO BRASIL	12,0	1,2	1,4	12,0	1,2	1,4
97	MÁXIMO BRASIL	2,0	0,3	0,6	2,0	0,3	0,6
95	MÁXIMO EUROPA	2,1	0,15	0,3	2,1	0,15	0,3

Fonte : (TASCHENER, 1991 ; Murgel, 1990)

É interessante observar na tabela 8.4, que para outros países a legislação é rigorosa mesmo só havendo veículos a gasolina. Por volta de 1983, havia uma grande diferença de emissão entre os veículos à álcool e à gasolina, diferença que foi diminuindo e futuramente será desprezível.

Um outro exemplo que mostra claramente como os outros países procuram resolver ou minimizar os problemas ambientais com base no desenvolvimento de tecnologia é o apresentado na tabela 8.5, onde é mostrado os requisitos de emissões da Califórnia - EUA, considerada a mais rigorosa, e as emissões, de veículos atualmente em desenvolvimento utilizando-se motores dois tempos.

TABELA 8.5
EMISSIONES DO FORD FIESTA 2 TEMPOS E LIMITES DA CALIFORNIA - EUA

		EMISSIONES EM G/KM		
		CO	NO _x	HC
FORD FIESTA COM	6400 KM	0,13	0,3	0,09
FORD FIESTA COM	80000 KM	1,18	0,35	0,2
LIMITE ATUAL CALIFORNIA P/80000 KM		7,0	0,7	0,39
LIMITE 1994 CALIFORNIA P/80000 KM		3,4	0,4	0,125
LIMITE 1997 CALIFORNIA P/80000 KM		1,7	0,2	0,04

Fonte : (QUATTORUOTE, Agosto de 1992).

Os motores a dois tempos em desenvolvimento, já satisfazem a legislação da Califórnia para 1997, com exceção da emissão de hidrocarbonetos não queimados, no entanto os fabricantes esperam resolver este problema até o início da comercialização desses veículos. É interessante observar que quanto a emissão de monóxido de carbono, não é feita nenhuma exigência quanto ao teor de oxigênio do combustível.

Pelo que se observa nas tabelas 8.4 e 8.5 não há correlação entre o tipo de combustível e o atendimento de padrões de emissões, mesmo os mais rigorosos, como os da Califórnia. Assim pode-se concluir que não há justificativa para o subsídio ao carro à álcool pelo menor IPVA e IPI.

Utilizando-se a metodologia apresentada no capítulo 7, considerando-se, a venda de veículos 200.000 veículos à álcool por ano, ao preço médio de 10.000 US \$, projeta-se as perdas de arrecadação apresentadas na tabela 8.6 .

TABELA 8.6
PERDAS EM MILHÕES DE US\$ PELO MENOR IPVA E IPI DO CARRO À ÁLCOOL

PERIODO	IPVA	IPI	TOTAL
DE 1992 A 1995	104,04	100,80	204,84
DE 1996 A 2000	168,00	299,82	467,82
TOTAL	272,04	399,82	672,66

Na tabela 8.6 considerou-se apenas os veículos produzidos de 1992 em diante. Pode-se observar que a partir de 1996 quando já é grande a frota de veículos à álcool produzidos após 1992, os valores referentes ao IPVA aumentam bastante.

8.2.5 FLEXIBILIDADE PARA OS COMBUSTÍVEIS DO CICLO OTTO - EXPERIÊNCIA INTERNACIONAL.

Sugere-se que o Brasil passe a se utilizar da tecnologia usada em praticamente todos os países do mundo, ou seja o uso de carros do ciclo otto regulados para apenas para gasolina, podendo no entanto, utilizar produtos oxigenados como o álcool etílico, até cerca de 3% em peso de oxigênio.

Como discutido no capítulo 4, a principal vantagem desta proposta é realmente usar o produto oxigenado para a minimização da emissão de monóxido de carbono, nas regiões ou períodos mais críticos. Por exemplo, só em outubro de 1992 retornou-se a mistura de 22% de álcool a gasolina^{8.5}. Curiosamente no inverno, quando as condições de dispersão de poluentes são piores, e é maior a incidência de problemas respiratórios nas pessoas, o teor de álcool era 13%. Em outras palavras na atual situação o teor de álcool na gasolina é determinado apenas pela oferta do produto, independentemente das condições ambientais.

Para melhor exemplificar essa questão, mostra-se na tabela 8.7, a flexibilidade que haveria com a introdução da gasolina com até 10% de álcool, comparada a atual situação, cujo teor de álcool, seria fixo em 22% de álcool.

TABELA 8.7
COMPARAÇÃO DA SITUAÇÃO ATUAL COM A PROPOSTA DE CARROS
REGULADOS PARA TEORES ATÉ 10% DE ÁLCOOL ANIDRO

ITEM	SITUAÇÃO ATUAL	PROPOSTA
% DE ÁLCOOL NA GASOLINA	22%	ATÉ 10%
PRODUÇÃO ATUAL ÁLCOOL BPD	207000	VARIÁVEL
DEMANDA TOTAL ÁLCOOL	223000	VARIÁVEL
PRODUÇÃO DE GASOLINA	232000	232000
DEMANDA DE GASOLINA	161820	179800
IMPORTAÇÃO DE ÁLCOOL	16000	ZERO
FLEXIBILIDADE DO ÁLCOOL	ZERO	8,06%
BALANÇO DE PAGAMENTOS 10 ⁶ US\$	- 181,94	- 118,36
ARRECADAÇÃO DE CRUZEIROS	+ 578,74	+ 578,74

O principal objetivo da tabela 8.7 é mostrar os benefícios de se introduzir uma "flexibilidade" na oferta/demanda de álcool, que seria obtida pela introdução no mercado de um novo tipo de gasolina. A tabela 8.7 foi montada com base em diversas estatísticas, por exemplo a demanda de gasolina foi obtida do mês de agosto de 92, admitindo-se 13% de álcool. A importação de oxigenados foi admitida semelhante ao ano de 1990 em torno de um milhão de metros cúbicos. O preço do álcool foi admitido 300 US\$/m³, é um valor para álcool contaminado com metanol.

A flexibilidade foi definida como a quantidade possível de ser variada, dividida pela demanda do produto. Quanto mais flexível for um determinado segmento melhor são as possibilidades de atendimento de forma mais econômica.

Na tabela 8.7, tanto a arrecadação de cruzeiros, como a balança de pagamentos referem-se ao volume de álcool que se deixou importar. Poderia-se fazer um cálculo semelhante,

8.5 A mistura de 22% fora interrompida ao final de 1989, passando a ser de 13%, face a menor produção de álcool, e previa-se a falta de álcool para o ano seguinte. Em 1990 de fato ocorreu a falta de álcool com sérios problemas de abastecimento, contornado com a redução do álcool na gasolina para até zero por cento em algumas regiões e importações de álcool, metanol. A situação só foi totalmente normalizada em outubro de 1992.

tomando-se como base a hipótese do mercado internacional de álcool estar favorável a exportação do produto.

Assim a introdução no mercado de uma gasolina com até 10% de álcool, teria as seguintes vantagens:

(i) Introduz um grau de flexibilidade na questão oferta e demanda de álcool motor.

(ii) Eventualmente esta flexibilidade pode-se ser aproveitada para melhorar as condições ambientais, ou mesmo de mercado. Admita-se que por qualquer motivo o preço da gasolina fique atrativo. Pode-se aumentar um pouco a exportação de gasolina. Ou mesmo o preço do açúcar, poderia-se aumentar a exportação sem comprometer o abastecimento dos combustíveis do ciclo otto.

(iii) Nos veículos a gasolina pode-se usar as mesmas regulagens de outros países, ou seja, pode-se mais facilmente utilizar a tecnologia desenvolvida em outros países.

(iiii) Fica mais fácil a integração do cone sul, ou seja, pode-se exportar ou importar veículos do ciclo otto.

(iiiii) A gasolina com menos álcool e mesma octanagem apresenta um menor consumo específico, em virtude do maior poder calorífico, os mesmos valores de emissão e poderia ter um preço menor ao consumidor, ou maior arrecadação de tributos.

Da mesma forma que para se analisar o segmento dos combustíveis do ciclo otto, é de grande importância as questões ligas das ao álcool, para os demais segmentos é importante o uso proposto ao gás natural. No próximo item comenta-se alguns usos possíveis deste energético.

B.3. CONSUMO E VALORIZAÇÃO DO GÁS NATURAL

Muito se tem falado e escrito sobre a necessidade e o desejo em se aumentar a participação do gás na matriz energética nacional. Defende-se inclusive a tese do maior consumo de gás no Brasil ser fator de integração política e econômica da América do Sul. Isto porque provavelmente o Brasil ira comprar gás da Bolívia e Argentina, além é claro, de aumentar a produção nacional.

O gás tem uma série de propriedades, que o tornam um combustível de qualidade impar, podendo substituir praticamente todos os demais. E assim deve ser entendido, como um combustível que ao ser usado facilita o suprimento energético de um país, não pode ser entendido como um substituto do óleo combustível.

O gás pode ser usado em substituição ao gás liquefeito de petróleo (GLP); como fonte de matéria prima petroquímica, produzindo hidrogênio, metanol e até diesel e gasolina; é um excelente combustível do ciclo otto, podendo substituir gasolina, e até mesmo o óleo diesel. Pode também ser usado como combustível de turbinas à gás, e finalmente pode substituir qualquer tipo de óleo combustível.

No entanto, tanto em termos de economia de recursos financeiros, como no consumo energético global, deve-se pensar na consequência ou efeitos do uso do gás substituindo determinado energético como mostrado na tabela B.8 e B.9.

TABELA 8.8
EFEITOS DA SUSTITUIÇÃO DE GÁS -COMPARAÇÃO COM O PREÇO
DA GASOLINA - PGASO (a)

PRODUTO	EFEITO PRINCIPAL	VALORIZAÇÃO
GLP	DIMINUE A IMPORTAÇÃO ATENUA A PONTA SISTEMA ELÉTRICO	0,89 PGASO (b)
PETROQUÍMICA	DIMINUE A IMPORTAÇÃO DE NAFTA OU PETRÓLEOS COM CONDENSADOS	0,90 PGASO
GASOLINA	AUMENTA A EXPORTAÇÃO	0,92 PGASO (c)
DIESEL	DIMINUE IMPORTAÇÃO OU NOVAS UNIDADES DE REFINO MENOR CONSUMO ENERGIA PRIMÁRIA	0,98 PGASO (d)
E. ELÉTRICA (GERAÇÃO)	SE USADO EM CICLO COMBINADO MENOR CONSUMO ENERGIA PRIMARIA	1,16 PCOMB.(e)
O.COMBUSTÍVEL	AUMENTA EXPORTAÇÃO OU UNIDADES DE FUNDO DE BARRIL AUMENTA CONSUMO ENERGIA PRIMÁRIA	
	TIPO ATE INTERNACIONAL (3,5 % S)	0,53 PGASO (f)
	TIPO BTE INTERNACIONAL (0,3 % S)	0,84 PGASO (g)
	TIPO BTE 7(B) -BRASIL	0,76 PGASO (h)
	TIPO ATE 7(A) -BRASIL	0,34 PGAS

Fonte (Platt's 21.09.92)

comentários da tabela 8.8 :

- (a) - Com base na média de vários preços publicados em diversos mercados, calculou-se os preços relativos de todos os derivados em relação ao preço gasolina (PGSO).
Sugere-se o uso de (7.9) para correlacionar o preço do petróleo ao da gasolina.
- (b) - Os preços estão em US\$/bbl. Porém para o GLP usou-se US\$/t.
- (c) - A gasolina usada como base é a sem chumbo de octanagem (MON + RON)/2 87. O mercado americano têm preferência a importar produtos intermediários, e há o frete e outros custos de exportação. Desta forma considera-se o preço da gasolina exportada menor.
- (d) - A rigor o diesel no Brasil, seria mais caro que o internacional devido ao frete, porém a especificação brasileira permite a incorporação de produtos pesados, usou-se um preço ligeiramente menor.
- (e) - PCOMB é o preço do combustível substituído. Pode ser até carvão.
- (f) - A viscosidade do óleo combustível mais comum é 200 SSF @ 50°C., no Brasil os óleos de menor viscosidade são do tipo 1, com 600 SSF @ 50 ° C. Este tipo de óleo seria um pouco mais barato.
- (g) - Poucos petróleos produzem um óleo combustível de tão baixo teor de enxofre, justificando o alto preço.
- (h) - Considerou-se o preço do óleo de baixo teor de enxofre do mercado internacional, contando-se o preço do diluente, tomado como diesel na composição de 35%.

TABELA 8.9

USO DO GÁS - CUSTOS COMPARATIVOS E CONSUMO ENERGIA PRIMÁRIA
BASE : PETRÓLEO 20,00 US\$/BBL

COMBUSTÍVEL SUBSTITUÍDO	VALOR ATRIBUÍDO US\$	ENERGIA PRIMÁRIA COMENTÁRIO	ECONOMIA
GLP	198,3/T(a)	OCORRE: NÃO QUANTIFICADO	-
NAFTA PETROQUÍMICA	23,49/BBL	DEPENDE DO USO. EX. GERA- ÇÃO HIDROGÊNIO	21% (b)
GASOLINA	24,01/BBL	OCORRE. MAIOR EFICIÊNCIA E CONSUMO DO REFINO	30% (c)
DIESEL	25,58/bbl	OCORRE : PRINCIPALMENTE NO REFINO	7% (d)
O.COMBUSTÍVEL			
1A	13,50	É DIFÍCIL DE SE QUANTIFICAR. -	
1B	20,88	DEPENDE DE CADA CASO. (e)	
7A	8,87		
7B	19,84		

Comentários da tabela 8.9:

- (a) - Expresso em toneladas, por ser mais usual para o GLP.
- (b) - Referência :(Sherwood, 1972).
- (c) - Assumiu-se a eficiência de 32 % para o gás e 24% para a gasolina. Considerou-se também o gasto de energia no refino, conforme mostrado na tabela 8.11. Admitiu-se que o gás perderia 10% do ganho de eficiência face ao maior peso do veículo.
- (e) - Pode-se imaginar que refinando o petróleo obtém-se o óleo combustível. Se este produto não tiver uso, será matéria prima de outra unidade de refino. Caso o óleo combustível encontre aplicação direta economiza-se uma etapa ou duas etapas de refino, gastando-se menos energia.

Os valores apresentados nas tabelas 8.8 e 8.9, principalmente quanto a economia de energia primária, devem ser entendidos apenas como referência. Para se ter uma melhor visualização dos preços marginais^{8.6} dos derivados substituídos, construí-se a tabela 8.9 com o petróleo à 20,00 US\$/bbl, calculando-se preço da gasolina, e dos outros derivados.

O gás é sem dúvida uma importante fonte de energia e deve ser usada, para facilitar o suprimento energético do país. Evidentemente que ao ser usado, por exemplo, substituindo GLP são necessários recursos, normalmente não disponíveis. O mesmo pode ser dito em relação a substituição do diesel no transporte. A substituição do óleo nas indústrias exige menor investimentos, mas estrategicamente é pior para o país. Basicamente porque o óleo combustível é o derivado de petróleo mais barato.

8.6 Os valores apresentados devem ser entendidos como marginais, de acordo com o conceito que uma pequena substituição, não altera substancialmente o esquema de abastecimento energético, apenas há uma certa compensação via importação-exportação, ou construção de alguma unidade de refino.

Sugere-se que os novos projetos de uso de gás, tenham sempre por base atender os 3 setores, residencial, industrial e o do transporte. Para que o projeto tenha viabilidade, no início a maior parte do fornecimento de gás, seria para o setor industrial, aumentando paulatinamente para os outros setores.

Outro aspecto importante relacionado ao gás é a questão efeito estufa, que pode ser analisado pela ótica do consumo de energia. Alguns autores consideram que será a preocupação do próximo século, e o adequado uso do gás contribuirá para o equacionamento do problema.

Este tipo de enfoque vem sendo dado mais recentemente, cita-se por exemplo o artigo "The Efficient Use of Natural Gas in Transportation" (STODOLSKY, 1992), que compara os diferentes usos possíveis do gás natural no setor transporte. Considera o uso do gás comprimido, do gás natural liquefeito, do gás como fonte de matéria prima para a produção de metanol, MTBE, gasolina e gasolina alquilada, ou de aviação. O artigo compara também o uso do GLP, por considera-lo como um componente do gás natural.

A importância deste tipo de estudo, é mostrar ou planejar as melhores rotas de abastecimento de energia para o mundo. Logo após o segundo choque do petróleo, muitas empresas viram no gás natural uma fonte de "matéria prima" para a produção dos principais derivados, e passaram a desenvolver as tecnologias para isso, são exemplos os desenvolvimentos para a liquefação do carvão (WAGNER, 1988); processo Mobil de produção de gasolina (SKOV, 1988), e o processo SMDS da Shell, que a partir do gás obtém nafta, querosene e óleo diesel (HAGGI, 1988). Por outro lado, hoje a produção de metanol e o MTBE, são derivados basicamente do gás natural. Desta forma, surge a questão: qual é a forma mais eficiente do uso do gás? Quais os parâmetros de comparação? O artigo citado, compara estas alternativas. Os principais resultados estão mostradas na tabela 8.10.

TABELA 8.10
COMPARAÇÃO DO USO DO GÁS EM DIFERENTES FORMAS EM VEÍCULOS

FORMA DE USO	CONSUMO DO VEÍCULO BTU/MILHA	TAXA DE COMPRESSÃO	EFICIÊNCIA RELATIVA
--------------	---------------------------------	-----------------------	------------------------

GÁS COMPRIMIDO	3302	14,55	0,95
GÁS NATURAL LIQUEFEITO	3172	14,55	0,86
GLP	3102	15,02	1,05
METANOL	2937	12,50	0,82
MTBE	3233	10,00	0,83
GASOLINA (DE GÁS)	3281	10,00	0,88
GASOLINA ALQUILADA	3233	10,00	0,86

Fonte : (STODOLSKY, 1992)

Na tabela 8.10 , é apresentado o consumo relativo por combustível. O tamanho e o peso dos veículos usados variam para acomodarem o sistema de combustível e o mesmo número de pessoas. Na eficiência relativa levou-se em conta o consumo global, desde o veículo à parte industrial. A conversão do gás para qualquer outro combustível, como o hidrogênio, consome bastante , diminuindo a eficiência global.

O artigo recomenda o uso do gás natural comprimido como melhor alternativa para os próximos anos. Curiosamente o produto de maior eficiência é o GLP^{8.7}, porque é facilmente liquefeito e tem alta octanagem.

A seguir , nos próximos itens comenta-se os outros derivados de petróleo, o gás é sempre um substituto possível.

8.4 COMBUSTÍVEIS DO CICLO DIESEL.

Do ponto de vista de abastecimento , o óleo diesel é o produto que exige maiores cuidados face a grande influência do preço e disponibilidade , no crescimento econômico do país.

Como comentado nos capítulos anteriores desta dissertação, o óleo diesel já é o derivado mais consumido no mundo, e no futuro, vai aumentar a importância estratégica e o valor comercial do óleo diesel.

O óleo diesel tradicionalmente foi obtido a partir de correntes provenientes da destilação do petróleo, porém, face ao aumento do consumo , e as retrações da demandas do óleo combustível, o diesel passou a ser produzido de correntes antes destinadas a produção de óleo combustível, por unidades chamadas de fundo de barril.

Assim o crescimento da demanda de diesel no Brasil deve ser analisado principalmente quanto aos seguintes aspectos:

(1) No mundo só se comercializa pequenas quantidades de diesel, normalmente sobras sazonais dos países. Por exemplo no Brasil há alta demanda entre agosto e novembro, devido a grande parte da colheita agrícola. No hemisfério norte de um modo geral, há alta demanda no inverno, ou seja entre novembro e março. Apesar dos picos de demanda não ocorrerem simultaneamente , do ponto de vista estratégico não se pode garantir o abastecimento interno via importação^{8.9}.

8.7 Pode-se deduzir do artigo, que o GLP apresenta uma maior eficiência nos motores do ciclo otto, em relação a gasolina. Como no refino os dois produtos são obtidos da mesma unidade, a eficiência global do GLP é maior que a gasolina . Muito possivelmente é este tipo de constatação que tem incentivado o uso de GLP em veículos em alguns países.

8.9 é uma situação diferente da gasolina, produto exportado compulsoriamente por diversos países, inclusive o Brasil. é também diferente do GLP, exportado preferencialmente pelos países produtores de petróleo , como a Arábia Saudita. Neste caso, o GLP é importado principalmente por contratos de 1 ou 2 anos de duração.

(ii) O aumento da produção porcentual em relação ao petróleo, pode ocorrer pela construção de unidades de fundo de barril, acopladas a unidades de hidrotratamento; ou unidades de hidro-craqueamento. Ambas as rotas são caras, tanto do ponto de vista dos investimentos, como o próprio custo operacional. Assim o custo do diesel aumentara independentemente do preço do petróleo.

(iii) A maior preocupação com a qualidade do ar das cidades tende a dificultar a obtenção do diesel e torná-lo mais caro.

Tendo em vista esses três aspectos, considera-se de grande importância estratégica, o uso do gás natural preferencialmente para substituir diesel. Além do gás, deve-se imaginar outros programas de substituição de diesel. Do lado da oferta, deve-se realizar investimentos, de forma a aumentar a produção de diesel. A seguir detalha-se estas propostas.

8.4.1 O CUSTO DO AUMENTO DE PRODUÇÃO DO ÓLEO DIESEL.

Para o desenvolvimento deste trabalho é necessário conhecer o custo do aumento de produção do óleo diesel. Na realidade trata-se de uma questão complexa, e certamente haverá diversas respostas, dependendo-se das hipóteses assumidas. Considera-se que o aumento de produção do diesel, ocorrerá pelo aumento do número de unidades de coqueamento retardado, por serem o tipo de unidade que mais se ajustam ao perfil brasileiro^{8.9}, sendo que os produtos obtidos devem ser hidrotratados. Como foi mostrado no capítulo 3, as refinarias brasileiras, são muito semelhantes ao "tipo 2", para produzirem mais diesel e menos óleo combustível estão sendo transformadas no "tipo 4".

Um outro aspecto importante, é a não existência de rota de refino que produza apenas diesel, por exemplo a rota sugerida anteriormente, aumenta a produção de diesel, diminui a de óleo combustível, paralelamente, aumenta a produção de GLP e gasolina, além de melhorar a qualidade do diesel. Por outro lado seria muito caro e com muitas dificuldades técnicas, o hidrotratamento apenas das correntes provenientes do coqueamento retardado, e desta forma hidrotrata-se também uma corrente de destilação direta, normalmente o diesel pesado. Ganha-se em qualidade, porém aumentando-se os custos. Em resumo, para aumentar a produção de óleo diesel, aumentam-se os investimentos e o custo operacional, porém ocorrerão outros efeitos benéficos, como o aumento de produção de diesel e gasolina e a melhoria da qualidade do diesel^{8.10}.

8.9 O petróleo dos grandes campos produtores, como Marlin e Albacora são considerados "pesados", ou seja produzem muito resíduo de vácuo, comercializado como óleo combustível. Há tendência de sobra de óleo combustível. Assim as unidades de coqueamento retardado, diminuem a oferta de óleos combustíveis e podem aumentar a de óleo diesel.

8.10 Pelo hidrotratamento melhora-se a qualidade do diesel, quanto ao teor de enxofre, e melhora estabilidade química. Porém a incorporação de correntes de craqueamento catalítico e coqueamento retardado, devem ser controlada para não diminuir o índice de cetanos, e não aumentar a densidade e o teor de aromáticos, além dos padrões aceitáveis.

Convém entender também que quanto mais complexo for o esquema de refino, maior é o consumo de energia. Principalmente nas unidades de hidrotratamento que consomem hidrogênio, obtido dos derivados do petróleo ou do gás natural^{8.11}. Volta-se ao paradoxo já comentado anteriormente, as unidades de hidrofino por removerem o enxofre dos derivados de petróleo, contribuem para a melhoria das condições ambientais, porém aumentam significativamente o consumo dos derivados de petróleo ou gás, aumentando a emissão de dióxido de carbono.

Com base nos dados apresentados no capítulo 3 desta dissertação, propõe-se valores de investimentos, custos operacionais e consumo de energia, para o aumento da produção do óleo diesel, obtidos da comparação dos esquemas de refino 2 e 4, analisados na tabela 3.23 e apresentados na tabela 8.11.

TABELA 8.11

CUSTOS DO AUMENTO DA PRODUÇÃO POR M³

PRODUTO	INVESTIMENTO 10 ⁶ US\$/DIA	CUSTO DO REFINO US\$/bbi
GASOLINA	12,92	2,96
GLP	12,92	2,96
DIESEL	25,83	4,02

Os custos apresentados, devem ser entendidos como marginais que incrementam os custos de produção, do esquema de refino 2. Na tabela 8.12 apresenta-se os custos de produção do esquema de refino 2.

TABELA 8.12

PREÇOS INTERNACIONAIS DOS DERIVADOS EM 21.09.92

PRODUTO	VALORIZAÇÃO US\$/BBL	RENDIMENTO VOLUMÉTRICO	VALORIZAÇÃO
GLP	17,13	6,6%	1,13
NAFTA	21,73 (a)	6,0%	1,30
GASOLINA	25,56	22,6%	5,78
DIESEL	24,74	38,8% - 3	8,86 (b)
D.COMBUSTÍVEL	13,55	25,0% + 3	3,79
TOTAL		99,0	20,86
PETRÓLEOS			
BRENT	20,18		
IRANIANO LEVE	18,87		
MÉDIO (c)	19,53		
MARGEM REFINO BRUTA. US\$/BBL (20,86-20,18)			= 0,68
MARGEM REFINO BRUTA (a)			= 0,91

Fonte : (PLATT'S, 21.09.92)

8.11 é uma situação semelhante ao mostrado na tabela 8.9, ou seja, se comparado o uso do gás diretamente no setor transporte, ganha-se no consumo de energia primária, porque a geração de hidrogênio e posterior hidrotratamento, são etapas que consomem bastante gás natural, ou outra fonte de hidrogênio.

Comentários da tabela 8.12

(a) - No capítulo 3 considerou-se que toda nafta seria vendida como gasolina. No entanto isto não corresponde ao mercado brasileiro, e dificilmente a mistura nafta craqueada e nafta se enquadrariam nos padrões de qualidade da gasolina Americana. Devido a isto calculou-se duas margens de refino a segunda considerando-se apenas a produção de gasolina.

(b) - Como comentado anteriormente, as especificações brasileiras, de diesel e óleo combustível são diferentes. Usou-se um ajuste de 3% de rendimento.

(c) - O processamento apenas do Iraniano leve, não produziria produtos com especificação internacional, usou-se portanto a média de preços dos dois petróleos.

A tabela 8.12 mostra uma série de preços consistentes, inclusive com a margem de refino. Isto quer dizer que os preços podem ser usados como custos. Assim, com relação a tabela 8.11, o diesel produzido a mais, teria o custo aproximado de : 24,74 + 4,02, ou seja : 28,86 US\$/bbl.

Tendo em vista o comentado nos parágrafos anteriores, como a produção de diesel exige além todo o hidrotratamento, considerou-se o custo do diesel como sendo o dobro do GLP e gasolina. O consumo de energia é ainda mais difícil de ser determinado por produto, assim mostrou-se alguns dados típicos na tabela 8.13 com objetivo de se ter parâmetros gerais. Por exemplo para a produção adicional de diesel, com base no resíduo de vácuo, haveria o consumo de energia na unidade de coqueamento, na unidade de hidrotratamento e na produção de hidrogênio. Na realidade, o consumo é muito maior que o indicado, porque, serão hidrotratados não só as correntes provenientes do coqueamento.

TABELA 8.13
CONSUMOS DE ENERGIA

UNIDADE	PRODUTOS TÍPICOS	CONSUMO ENERGIA % MÁSSICA
CRAQUEAMENTO CAT.	GLP, GASOLINA	6
COQ. RETARDADO	DIESEL INTERMEDIÁRIO	4
HIDROTRATAMENTO	DIESEL FINAL	1
GER. HIDROGÊNIO	P/ DIESEL	2

Como comentado anteriormente estão surgindo estudos para se verificar a eficiência global de determinadas fontes primárias de energia. Um exemplo é o apresentado na tabela 8.14.

TABELA 8.14
EFICIÊNCIAS PARA PRODUÇÃO DE GASOLINA E ENERGIA ELÉTRICA

ETAPA	EFICIÊNCIA P/GASOLINA %	EFICIÊNCIA P/E.ELÉTRICA %
RECUPERAÇÃO DO PETRÓLEO	96,9	96,9
TRANSPORTE DO PETRÓLEO	98,9	98,9
REFINAÇÃO GASOLINA/ÓLEO COMB.	87,4	95,2
TRANSPORTE "	99,2	99,3
GERAÇÃO E. ELÉTRICA	-	32,0
TRANSMISSÃO E. ELÉTRICA	-	92,0
EFICIÊNCIA TOTAL	83,1	26,7

Fonte : (WANG, 1991)

Estudos como o resumido pela tabela 8.14 , manifestam a preocupação com o consumo de combustíveis fósseis, tendo em vista ser uma fonte de energia não renovável, ou pela hipótese de emissão dos gases de efeito estufa.

De um modo geral há poucos estudos sobre a qualidade dos combustíveis, e o consumo de energia no refino. Cita-se apenas " Automotive Diesel Fuel : The Balance Between Cost effectiveness and environmental Acceptability (LINDSAY, 1991). Um dos aspectos abordados pelo artigo, é a projeção da demanda de diesel para o ano 2010, e os problemas de qualidade do produto. Segundo o artigo a questão da qualidade do diesel deveria ser bem discutida porque a redução do teor de enxofre de 0,25% para 0,05%, vai aumentar muito o consumo de energia nas refinarias, aumentando a emissão de CO₂, cerca de 10 vezes mais que a redução da emissão do SO₂.

Um outro aspecto interessante apresentado pelo artigo comentado são os custos de hidrotratamento do óleo diesel, apresentados na tabela 8.15.

TABELA 8.15
CUSTOS DE HIDRODESSULFURIZAÇÃO DO DIESEL

REGIÃO	CUSTO US\$/BBL
EUA	3,22
CANADA	4,73
EUROPA	3,41

Fonte : (LINDSAY, 1991)

Em relação aos custos de hidrotratamento apresentados na tabela 8.15, pode-se dizer que os custos globais, do aumento de produção do diesel, apresentados na tabela 8.11 são bastantes conservativos.

Apesar da complexidade deste item, com os valores obtidos pode-se estimar os ganhos em substituir este derivado.

8.4.2 USO DO GÁS NO SETOR TRANSPORTE

Três fatos foram ocorrendo simultaneamente, os choques do petróleo, que elevaram o preço e o consumo do óleo diesel, o maior uso e construção de gasodutos e instalações para distribuição de gás natural, e finalmente a tomada de consciência dos problemas ambientais das grandes cidades, e a identificação do principal responsável pela situação : o setor transporte.

Passou-se a pesquisar intensamente o uso do gás natural no setor transporte. Inclusive já há uma série de experiências bem sucedidas, por exemplo o uso de frotas urbanas de automóveis à gás. Apesar de ser considerada uma tecnologia já desenvolvida, há muita pesquisa, principalmente quanto aos aspectos ambientais. Para se confirmar a quantidade de pesquisas que de uma forma ou outra continuam em andamento, cita-se a publicação mensal do Instituto Americano do Petróleo, " Petroleum Refining & Petrochemicals ", que faz uma retrospectiva sobre todos os

artigos publicados nas principais revistas especializadas do mundo. Na edição de Outubro de 1992, na seção combustíveis de motores há a resenha de 27 artigos, 25 sobre experiências com gás natural em motores (Petroleum Refining & Petrochemicals, 1992).

A principal vantagem do uso do gás é principalmente a baixa emissão de poluentes, principalmente dos óxidos de enxofre, de nitrogênio, menor emissão de hidrocarbonetos não queimados, até uma redução do teor de CO, dependendo da tecnologia empregada. Se comparado especificamente com o diesel, também ocorre redução da emissão de particulados.

8.4.2.1 TECNOLOGIAS DE USO DO GÁS NO SETOR TRANSPORTE

O processo mais comum, consiste no uso do gás em motores do ciclo otto. Isto porque o metano, principal componente do gás natural tem alto índice de octanos, permitindo altas taxas de compressão como mostrado na tabela 8.10, e portanto alto rendimento.

Segundo a literatura esta tecnologia, principalmente para automóveis começou a ser utilizada na Itália, e hoje já é usado na Nova Zelândia, Canadá, EUA, URSS e Argentina (Bo, 1987).

No Brasil uma grande montadora desenvolveu um ônibus, para utilizar mais eficientemente o gás natural comprimido. Este veículo, tem autonomia variável de acordo com a necessidade, há experiências com até 800 km. É claro que quanto maior a autonomia requerida, maior será o peso e o custo dos cilindros. Para autonomia de 200 Km é necessário o uso de 5 cilindros, de 80 l de volume cada, pressurizados a 200 BAR, com a capacidade de armazenamento de 100 Nm^3 (TOMBI, 1989).

Aparentemente ainda há duas propostas básicas em desenvolvimento para este ônibus:

- (i) Conseguir o consumo de 1 Nm^3 de gás, como equivalente a 1 litro de diesel, isto é, comparando-se o mesmo modelo de veículo, sendo um movido a gás e outro à diesel, haverá esta similaridade de consumo.
- (ii) O preço do ônibus a gás, quando produzido em escala industrial, seria igual ou até menor que o equivalente à diesel.

A outra rota que permite o uso do gás natural em substituição ao diesel em ônibus e caminhões é o sistema de dupla alimentação. Sistema desenvolvida para os grandes motores estacionários, e depois adaptados para os motores de menor porte (ESTON, 1989). Consiste basicamente em se adaptar em um veículo já existente, os cilindros de gás comprimido e um sistema de "carburação" no motor para regular a injeção de gás. Mantém-se a bomba injetora do diesel regulada para propiciar uma determinada potência. Pode-se dizer que o diesel manteria a marcha lenta. As maiores solicitações de potência, são atendidas pelo combustível suplementar no caso, o gás natural.

Dependendo do tipo de controle de gás adotado, e do tipo de percurso do veículo, substitui-se em torno de 70% do diesel por gás (BARRA, 1989; ESTON, 1989).

Do ponto de vista ambiental, a dupla alimentação atenua a emissão dos poluentes mais críticos dos motores diesel, o dióxido de enxofre e os particulados. Há também uma redução dos

óxidos de nitrogênio. No entanto aumentam a emissão de hidrocarbonetos e monóxidos de carbono, mas para valores aceitáveis, até para a legislação do Canadá (FOSTER, 1989).

A dupla alimentação é um sistema que pode ser adotado, para o diésel e qualquer outro combustível. Exemplo disto são os estudos realizados para o sistema álcool/diésel (COPERSUCAR, 1984), que tecnologicamente possíveis, porém sem viabilidade econômica. O álcool tem aproximadamente metade da energia, por unidade de volume que o diésel e o custo de cerca de 2,5 vezes maior, como pode ser visto na tabela 8.2.

De um modo geral há muitas estudos sobre o assunto, podendo-se concluir que a dupla alimentação é uma tecnologia já desenvolvida, quer no Brasil como em outros países. Tendo como principal vantagem a possibilidade de rapidamente ser introduzida em uma frota já existente, e em alguns casos, podendo retornar ao consumo só do diésel (HEENAN, 1988). Além disto, o consumo de gás tem como vantagem a diminuição dos custos.

Em termos de investimentos, considera-se o custo de adaptação de um ônibus, como sendo de 10% do valor original do ônibus. Há expectativas de que havendo maior produção dos "kits" o custo chegaria a cerca de 7% do valor do veículo (TOMBI, 1989).

A seguir comenta-se o potencial de redução dos custos de transporte, com o uso do gás.

8.4.3 REDUÇÃO DO CUSTO DO TRANSPORTE FACE AO USO DO GÁS

Um aspecto importante é a atual situação do transporte urbano de passageiros. O nível de salários têm diminuído em função de toda a situação macro-econômica, os preços dos ônibus, têm se mantido alto, e mais recentemente, ao longo de 1992 o diésel aumentou em termos reais, aproximadamente 64% (Gazeta Mercantil, 1992). Fatos que têm contribuído ao par o maior preço das passagens urbanas. Atualmente em cidades como São Paulo, Campinas, uma pessoa que ganhe o salário mínimo, via de regra mora longe dos centros, sendo obrigado a tomar duas conduções entre a moradia e o local de trabalho. Uma pessoa nesta situação, gasta mais da metade do salário, apenas para o item transporte.

O transporte urbano de passageiros é uma questão a ser pensada, deve ter preços compatíveis com o nível de salário da população. Por outro lado o transporte de cargas também tem grande importância. Entra diretamente no custo dos produtos, quer para o mercado interno, quer para o mercado externo. Assim por exemplo, o preço alto do transporte pode inviabilizar exportações de produtos agrícolas. Desta foram acredita-se que o setor transporte deve ter prioridade no uso do gás^{8.13}.

8.13 é muito importante para aliviar a o aumento de consumo previsto para o óleo diésel. Como comentado, o aumento da oferta se dará pela elevação de custo, como o mercado de gasolina é pequeno, os custos serão transferidos para o óleo diésel, ao nosso ver causando alguns problemas, como desemprego tarifas de transporte altas e etc.

O gás combustível era vendido pela PETROBRÁS em outubro/92 a 0,081 US\$/NM³. Admitindo-se a margem de distribuição de 20%, o preço para consumo é 0,097 US\$/NM³. O diesel na mesma estrutura de preços custava 0,383 US\$/l. Na tabela B.16 mostra-se a redução do custo de transporte, que o uso do gás propicia.

TABELA B.16
COMPOSIÇÃO DOS CUSTOS DE TRANSPORTE E REDUÇÃO COM USO DO GÁS.

DISCRIMINAÇÃO	% DO CUSTO		
	URBANO	INTERURBANO	CARGA
Investimento e manutenção	40	40	40
Mão de Obra: motorista e cobrador	40	20	20
Combustível e lubrificante	15	37	37
Pneus	5	8	8
REDUÇÃO COM USO DO GÁS	11,2%	27,6	27,6

Fonte : Empresas de transporte da região de Campinas.

Comentários da tabela B.15

O custo de um ônibus urbano da Mercedes Bens, é da ordem de de 120.000 US\$, pela taxa de câmbio de setembro/92.

O custo de um caminhão tanque é semelhante.

Na tabela admitiu-se a substituição total do diesel, caso seja parcial, pelo uso da dupla alimentação, a economia será menor e proporcional ao diesel substituído.

8.4.4 POTENCIAL DE SUBSTITUIÇÃO DE DIESEL POR GÁS

Em termos de substituição de diesel por gás, pode-se pensar nas regiões já servidas por gasodutos e aquelas que em futuro próximo o serão. Os sistemas já existentes são quatro basicamente. O gasoduto do nordeste, que interliga as capitais nordestinas de Fortaleza até Salvador. Há a região de Vitória que aproveita o gás da própria região. O maior em produção de gás, é o produzido na plataforma de Campos, que por gasoduto vai até a Refinaria Duque de Caxias, onde passa pela planta de gasolina natural, sendo depois bombeado para a região da cidade do Rio de Janeiro e São Paulo. O mais recente desses sistemas é o do gás de Santos, produzido na plataforma dessa cidade, e por gasoduto é enviado até a Refinaria Presidente Bernardes - Cubatão. O gás tratado é enviado aos consumidores industriais da própria cidade, e para a cidade de São Paulo, interligando-se ao gasoduto que vem do Rio de Janeiro.

Para o futuro, as hipóteses mais prováveis, são a construção de um gasoduto interligando o Rio de Janeiro a Belo Horizonte. Isto depende-se basicamente do aumento das reservas de gás da Bacia de Campos, e é claro, da disponibilidade de recursos. Dependendo do crescimento das reservas de Campos e da Bacia de Santos há a possibilidade de se interligar por gasodutos Campinas e Curitiba a São Paulo.

Há ainda a grande possibilidade de se comprar gás da Bolívia, e da Argentina. Ambos os projetos dependem de aprovação política e de se conseguir recursos para a construção de gasodutos para o transporte e distribuição.

A seguir, na tabela 8.17, apresenta-se uma estimativa da população das regiões servidas por gás, consumo de óleo diesel e número de ônibus.

TABELA 8.17

CONSUMO DE DIESEL, POPULAÇÃO (A) E FROTA DE ÔNIBUS

REGIÃO	FROTA DE ÔNIBUS	POPULAÇÃO (1000)	CONSUMO DE DIESEL (M ³ /MÊS)
FORTALEZA	1149	1582	2400
NATAL	348	610	830
JOÃO PESSOA	239	397	690
RECIFE	1675	1287	4200
MACEIÓ	482	282	700
ARACAJÓ	194	360	400
SALVADOR	1977	1804	5600
VITÓRIA	689	253	2150
RIO DE JANEIRO	10693	9500	23350
VOLTA REDONDA	260	219	290
BARRA MANSA	81	187	170
SÃO PAULO	13000	13511	26000
SANTOS/CUBATÃO	-	560	-
			66780

(A) População e frota das regiões metropolitanas

Fonte : (TOMBI, 1989)

O estudo citado, considera que o consumo de diesel no transporte de carga nas cidades é idêntico ao consumo no transporte de passageiros (TOMBI, 1987).

O transporte interurbano de passageiros, oferece as melhores chances de substituição. Estudando-se o movimento de ônibus da Rodoviária de Campinas, sugere-se para efeito de estimativa que o consumo diesel utilizado no transporte interurbano de passageiros, seja considerado metade do consumido no transporte urbano.

Com base nestas observações, pode-se resumir alguns parâmetros de consumo, como mostrado na tabela 8.18.

TABELA 8.18

PARÂMETROS SUGERIDOS PARA O CÁLCULO DO CONSUMO DE DIESEL

URBANO DE PASSAGEIROS	
ÔNIBUS POR 1000 HABITANTES DE CIDADES	1
CONSUMO DE DIESEL POR HABITANTE CIDADE	2,2L/MÊS
CONSUMO ESPECÍFICO MÉDIO POR ÔNIBUS	2,2 KM/L
DISTÂNCIA MÉDIA DOS ÔNIBUS URBANOS	160 KM/D
URBANO DE CARGA	
CONSUMO DE DIESEL POR HABITANTE CIDADE(A)	2,2L/MÊS
INTERURBANO DE PASSAGEIROS (B)	1,1L/MÊS
DISTÂNCIA MÉDIA DOS ÔNIBUS(C)	480KM/D
CONSUMO TOTAL POR HABITANTE (D)	5,5L/MÊS

COMENTÁRIOS da tabela 8.18.

(A) Estimado por (Tombi,1989)

(B) Estimado com base na cidade de Campinas

(C) é um valor bastante variável, sugeriu-se como mínimo

(D) Consumo total, considerando-se habitantes da cidade, apenas quanto ao transporte urbano de passageiros, urbano de carga e interurbano de passageiros.

A tabela 8.18 permite que se façam projeções, do potencial de substituição de diesel, para regiões servidas por gasodutos, ou que se pretenda construir.

Para melhor exemplificar, projeta-se na tabela 8.19 o consumo de diesel em duas regiões, não contempladas pela tabela 8.18. Observar que o potencial das regiões relatadas na tabela, é 2,5 vezes maior, devido ao transporte interurbano e transporte de carga.

TABELA 8.19		
CONSUMO DE DIESEL NAS REGIÕES COM NOVOS GASODUTOS		
REGIÃO	POPULAÇÃO (1000)	CONSUMO DE DIESEL M ³ /MÊS
SANTOS/CUBATÃO	560	3080
CIDADES ENTRE RIO E SÃO PAULO	1055	5802
TOTAL(INCLUÍDO 8.17)		166950

8.4.5 CONCLUSÕES

Vários aspectos devem ser discutidos. O primeiro ponto é que a maior parte das grandes cidades brasileiras, já é servida por gasodutos, é o caso das capitais nordestinas, e o eixo Rio São Paulo, que concentra grande parte da população brasileira. Se o gás não penetrou significativamente no setor transporte, deve-se ou a falta de infra estrutura, ou a falta de interesse.

Destaca-se o caso de São Paulo, cujo consumo máximo de gás no setor transporte, seria da ordem de 2.400.000 NM³/d, inferior a disponibilidade atual.

Aparentemente esta faltando maior incentivo ao uso do gás natural, inclusive em São Paulo há projeto de lei reduzindo ICMS e IVVC (Cristo,1992). Justifica-se o incentivo porque o gás tem preço para competir com o diesel, e melhora as condições ambientais da cidade.

Sob este aspecto é interessante a experiência do Canadá, que incentiva financeiramente a conversão dos veículos para gás comprimido. O incentivo varia de um sexto a metade do custo de adaptação do veículo ao novo combustível, dependendo da política de cada estado. Por outro lado, no Canadá há uma imposto sobre todos os combustíveis para veículos, sendo que o gás é isento. Desta forma o gás, é mais barato em calorías, que o diesel e a gasolina (GREENE, 1989).

A experiência canadense mostra que é necessário dar incentivos fiscais para acelerar a entrada do gás no setor transporte.

Outro aspecto é a substituição de diesel por gás nos ônibus interurbanos. Enquanto um ônibus urbano, roda em média 160 KM/d, um ônibus interurbano roda no mínimo 480 Km/d. Assim poucos ônibus, convertidos para o sistema dual, já trariam significativa substituição.

Assim pode-se dizer que hoje há um potencial de substituição da 36000 BPD, nas regiões já servidas por gás, considerando-se a substituição total, ou seja a troca de motores, para o ciclo otto. O mais provável seria o sistema de dupla alimentação, substituindo cerca de 70 %.

Por um lado entende-se que o programa do gás deve ser mais agressivo, porque o consumo de diesel tende a crescer sendo necessário programas para facilitar atendimento do mercado interno, e fazê-lo de forma econômica.

A seguir discute-se um outro programa, que pode atenuar a demanda de diesel no Brasil.

8.4.6 USO DE GRANDES MOTORES

Nos últimos anos houve um importante avanço na tecnologia dos grandes motores à diesel, que aumentaram a eficiência térmica, e passaram a utilizar basicamente o óleo combustível. Face a este ganho, tanto na possibilidade de usar o combustível mais barato e ganho de eficiência, os motores pesados praticamente eliminaram o uso de turbinas a vapor em navios. A grande parte dos navios construídos nos últimos anos, são movidos por motores diesel.

Por outro lado, pode-se pensar na seguinte hipótese, um motor construído com a tecnologia mais moderna, utilizando o melhor combustível, emite uma quantidade de poluentes. Isto é uma constatação para todos os motores de combustão interna. Os motores diesel têm alguns aspectos críticos, destaca-se a emissão de particulados, hoje considerado mais prejudicial à saúde humana que há alguns anos. Por outro lado o custo de tratar o diesel, isto é diminuir a emissão sem no entanto eliminá-la, é bastante alto (LINDSAY, 1992). No caso do Brasil, em 1995 mudara a especificação do teor máximo de enxofre permitido no diesel, que será limitado em 0,5% peso. No entanto possivelmente para as cidades a nova especificação será considerada insatisfatória.

Outro aspecto de grande importância são os óxidos de nitrogênio (NO_x). Como comentado no capítulo 4 estes compostos ao lado da atividade solar determinam a concentração de ozônio (O_3) na atmosfera baixa. Os dois compostos são fortemente oxidantes. Cada vez mais atribui-se efeitos nocivos destes compostos nos seres vivos. Assim é de se esperar para o futuro próximo maiores restrições às emissões de NO_x .

A CETESB estudando a qualidade do ar da grande São Paulo, considerou que 71% do NO_x e 69% do SO_2 são emitidos por veículos à diesel (MURGEL, 1990, pag 43).

Em resumo pode-se dizer que, mesmo investindo-se na melhoria da qualidade do diesel, diminuindo-se o ponto final, diminuindo-se o teor de enxofre pelo hidrotratamento, o problema da qualidade do ar do centros urbanos continuara. Entendemos que

é prioritário o investimento na melhoria do transporte de passageiros dos centros urbanos, preferindo-se a tração elétrica, ou seja sistema de ônibus elétricos, e pré-metrô, e metrô. Melhorando-se o perfil de consumo dos derivados, preparando as grandes cidades brasileiras para o próximo século.

A proposta pode parecer utópica, como será gerada a energia elétrica? Esta questão da eletrificação dos transportes, começa-se a ser estudada em vários países, tendo em vista a impossibilidade de resolver os problemas ambientais das cidades atuando-se no combustível e motores. Surge a eletrificação como uma solução mais barata, se considerado os diversos aspectos envolvidos, e perene. Porém como será atendida a nova demanda de energia, quais as consequências na demanda global de energia primária. São estas questões que estão sendo estudadas por vários pesquisadores (WANG, 1991).

Para exemplificar esta questão para o Brasil analisa-se a seguinte situação. Propõe-se que as cidades invistam em corredores eletrificados para ônibus, como forma de melhorar a qualidade de vida e diminuir o consumo de diesel. No entanto o sistema elétrico brasileiro necessita aumentar a geração. Então, compara-se a hipótese de manter os ônibus de uma cidade com diesel, ou construir um sistema de troleibus, e uma central de geração de energia elétrica, com um grandes motores diesel.

As pequenas centrais a diesel, estão conseguindo um alto rendimento a um custo considerado baixo. Exemplo disto é a central da ilha da Madeira - Portugal, de 88 MW. O consumo de combustível específico dos grupos geradores é 0,183 kg/kWh, correspondendo a uma eficiência térmica de 47,5%. Particularmente nesta usina é feita o aproveitamento da energia dos gases de combustão, elevando a eficiência térmica do conjunto a mais de 50% (BROWN, 1990).

Segundo os representantes no Brasil da empresa Sulzer, responsável pela construção da usina da ilha da Madeira, o custo de instalação completo de grupos usinas para geração de energia elétrica por motores do ciclo diesel, é de 1000 us\$/kw ^{8.14}.

Na tabela 8.19 mostra-se os principais itens de comparação das duas opções analisadas. Não foi considerado o preço dos ônibus, e nem o investimento necessário na implantação das linhas de alimentação dos ônibus elétricos. O que se pretende comparar são os custos operacionais, e no caso o sistema de ônibus elétrico é menor, com uma série de outras vantagens, como menor nível de ruído, menor poluição nos centros urbanos, grande durabilidade do sistema.

Do ponto de vista de poluição, uma fonte fixa, causa muito menos problema ao homem, devido a boa dispersão dos poluentes propiciada pelas chaminés que emitirão os gases por chaminés de 30 a 50m de altura. Ao contrário, os motores emitem a no máximo 2m, e muitas vezes no meio da população. Outro aspecto a considerar, é que uma fonte fixa é controlada por análises pelo

^{8.14} São os chamados contratos "chave na mão" ou seja a empresa contratada responsabiliza-se por todas as etapas de execução do empreendimento, entregando-o pronto e funcionando ao contratante.

pessoal da planta, as mais modernas já têm sensores em linha, indicando as condições de queima todo o tempo de operação, há ainda a supervisão dos órgãos de controle ambiental. Um ônibus comum, se tiver aumentado as emissões, até ser identificado o problema e o ônibus parado para a manutenção, terá emitido bastante poluentes.

TABELA 8.20
COMPARAÇÃO DO TRANSPORTE URBANO EM ÔNIBUS E ÔNIBUS ELÉTRICO

ITEM	ÔNIBUS	TROLEBUS	
NÚMERO DE VEÍCULOS	1000	1000	
CONSUMO DE DIESEL (M ³ /MÊS)	2200		
CONSUMO DE COMBUSTÍVEL (T/MÊS)		1612	
COMPARAÇÃO CONSUMO DE ENERGIA PRIMÁRIA			
EFICIÊNCIA TÉRMICA (a)	36	44,0	REDUÇÃO
CONSUMO ENERGIA (T/MÊS)	1848	1612	12,73
CONSUMO ENERGIA REFINO	130	-	
CONSUMO TOTAL	1978	1612	18,50
CUSTO MENSAL COMBUSTÍVEL (us\$)	345.000	166662	51,69
PRINCIPAIS VALORES ADOOTADOS			
MOTOR DIESEL ÔNIBUS	36%		
GERAÇÃO E. ELÉTRICA	45,8%		
DISTRIBUIÇÃO	96%		
DIESEL 0,5% S	25,00 us\$/bbl		
O. COMBUSTÍVEL 2.5% S	16,45 us\$/bbl		

Comentários:

Consumo de diesel: 1 l para 2,2 km
Km média dia 160KM/d (inclui sábado e domingo).
Índice médio de ônibus: 1 para 1000 habitantes.
Consumo médio de diesel 2,22 l/mês -habitante.
horário de funcionamento dos trolebus 6 as 22 horas.
(a) No caso dos trolebus considerou-se a perda de energia na transmissão elétrica. Não se considerou o consumo de diesel gasto no abastecimento dos ônibus.

Na tabela 8.20 assumiu-se, para o cálculo de potência, que a pequena central térmica, operaria das 6 as 22 horas. É claro que sendo construída uma central desse tipo, seria negociado com as empresas de energia elétrica, os horários de funcionamento e a central geraria para a rede local, diminuindo os custos e melhorando a confiabilidade do sistema.

Hoje no Brasil, em muitas cidades, cita-se São Paulo e Campinas, houve investimentos em "corredores" para ônibus elétrico, como o preço da energia elétrica aumentou muito, os projetos pararam e os investimentos realizados foram abandonados.

Sugere-se que os programas de eletrificação do sistema de ônibus das cidades seja retomado o mais rápido possível, tendo em vista a melhoria das condições ambientais das cidades e a melhoria do perfil de demanda dos derivados no país.

8.5 GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA COM DERIVADOS DE PETRÓLEO

8.5.1 ASPECTOS GERAIS - LEGISLAÇÃO AMBIENTAL.

O objetivo deste item é comentar alguns aspectos do fornecimento de derivados de petróleo para a geração de energia elétrica tendo em vista a implicação no refino e preços que poderiam ser atribuídos aos derivados.

De um modo geral, pensa-se sempre nos óleos ultraviscosos para essa finalidade, que evitaria a exportação de óleo combustível. No entanto como sera visto óleos de menor viscosidade se usados no ciclo diesel podem ser uma alternativa interessante.

Atualmente no Brasil, a exemplo da maioria dos países, já esta em vigência a resolução do CONAMA/91 introduzindo um controle sobre a emissão de fontes estacionárias, principalmente quanto a teor de particulados e emissão de SO_2 . Não fixando limites para a emissão de NO_x . Segundo esta resolução fontes de até 70 MW podem emitir até 5g de SO_2 por milhão de quilocalorias. Fontes maiores que 70 MW podem emitir até 2g. A maioria dos países têm legislações semelhantes a brasileira, pelo menos quanto a classificar as fontes de acordo com a potência. É este tipo de legislação, por outro lado, que tem influenciado bastante o preço dos combustíveis à nível mundial.

8.5.2 O PREÇO DOS ÓLEOS COMBUSTÍVEIS- INFLUÊNCIA DA VISCOSIDADE E DA % DE ENXOFRE

Há principalmente dois parâmetros que influenciam o preço do óleo combustível, a viscosidade e o teor de enxofre. A viscosidade esta ligada ao teor de diluentes empregadas na produção do combustível. Geralmente o diluente é um produto intermediário do refino, como o óleo leve de reciclo das unidades de craqueamento catalítico, ou o gasóleo leve da unidade de coque, produtos estes que se hidrotreatados, podem ser adicionados ao "pool" de óleo diesel^{8.15}. Assim para se valorar um óleo de maior viscosidade, como os comercializados no Brasil é necessário conhecer o preço do óleo básico, do diluente, e preço do óleo será obtido descontando-se o preço do diluente economizado.

O óleo mais comum no mercado internacional, é conhecido como combustível Ng 6, de viscosidade de 200 SSF @ 50°C e teor de enxofre de 3,5 %. Para calcularmos o custo dos demais tipos de óleos, considera-se que este seja composto por 35% de diluente, como o óleo leve de reciclo, e 65% de resíduo de vácuo ou óleo 7A do Brasil.

8.15 Ou seja os diluentes não tem características para serem vendidos como óleo diesel, porém ao serem adicionados a uma quantidade maior de diesel já especificado, a mistura resultante também estara especificada como óleo diesel.

O menor preço dos óleos de maior viscosidade, deve-se a possibilidade da retirada parcial ou total do diluente, e aproveitamento deste e valoração como produto mais nobre. No entanto esses diluentes para serem aproveitados no "pool" de diesel devera ser hidrotratado. O preço do ultraviscoso seria calculada pelo preço do óleo base, descontado o valor do DLR como diesel e descontado o custo do hidrotratamento. Do ponto de vista do consumidor, quanto menor a viscosidade do óleo, mais fácil é o manuseio e queima.

Com base nos preços de óleo combustível nº 6 publicados na revista Platt's de 8 de outubro de 1992, referente ao valor de comercialização nas diferentes regiões dos EUA, e o teor de enxôfre, propôs-se a correlação (8.4).

$$POC = 22,17 - 2,29(\%S) \quad (8.4)$$

onde: POC = Preço do óleo em US\$/bbl
(%S) = Porcentagem mássica de enxôfre.

Por (8.4) pode-se verificar que um óleo com 0,3% de enxôfre custa no mercado internacional 21,58 US\$/bbl, no mesmo período um óleo com 5,0% de enxôfre custa 10,82 US\$/bbl.

Tendo em vista a legislação brasileira, pequenas centrais térmicas podem utilizar um óleo com até 2,5% de enxôfre, sem necessidade de qualquer tratamento dos gases de combustão, similarmemente uma grande fonte necessitaria de um óleo de no máximo 1,0% de enxôfre. Os preços desses óleos estimados por (8.4) são : 16,45 e 19,88 us\$/bbl.

Tanto os preços projetados como a própria equação (8.4), refletem o fato do mercado, em virtude das legislações ambientais, ter grande preferência pelos óleo de menor teor de enxôfre. "oleos com teor de enxôfre superior a 3,5% não são usualmente comercializados.

Curiosamente as novas descobertas de petróleo de um modo geral tem maior teor de enxôfre, que se concentra no produto de fundo. Ou seja a oferta de óleos com alto teor de enxofre tende a crescer.

Uma questão a ser explicada seria a seguinte, se há melhores condições de mercado para os óleos de baixo teor de enxofre, porque os refinadores não investem em unidades de hidrotratamento para óleos combustíveis. Para se entender esta questão, é necessário lembrar que uma molécula de resíduo de vácuo, tem alto peso molecular e normalmente estrutura complexa, as vezes os átomos de enxofre estão no núcleo da molécula, tornando difícil a remoção do enxofre, que só seria conseguido pelo rompimento total da molécula. Para este tipo de reação é necessário unidades de hidrotratamento de alta pressão, disponibilidade de grande quantidade de hidrogênio, seletividade da carga a ser tratada, que não poderia ter teores elevados de metais, para não neutralizar os catalisadores da unidade. Por outro lado não poderia ter um resíduo de carbono muito elevado. Assim quando há condições técnicas e econômicas de hidrodessulfurizar o resíduo atmosférico ou de vácuo, o produto torna-se de tão boa qualidade que pode ser carga da unidade de craqueamento catalítico.

8.5.3 O COQUE DE PETRÓLEO.

Um aspecto a ser analisado é a grande perspectiva de aumento da produção de coque verde de petróleo no Brasil, e as melhores oportunidades de uso deste combustível.

Nos próximos anos ocorrerá o aumento da produção do petróleo nacional 8.16, do gás natural, e eventualmente a compra de gás da Bolívia ou Argentina, todos estes fatos contribuirão para a sobra de óleo combustível. Como consequência o refino de petróleo no país, será orientado a reduzir a produção de óleo combustível, principalmente pela construção de unidades de coqueamento retardado.

O coque verde de petróleo, do ponto de vista do refino, é obtido do processamento do resíduo de vácuo, que além do coque produz correntes possíveis de serem aproveitadas como diesel, gasolina e GLP. Assim em termos de preço o coque é bem mais barato que o resíduo de vácuo.

Do ponto de vista da utilização energética, o coque de petróleo têm poder calorífico de aproximadamente 7400 Kcal/ kg, maior que os carvões minerais, e teor de cinzas de 4%, bem menor que o dos carvões nacionais. Ou seja é um bom produto para fornecer energia.

Nos EUA a situação é semelhante a brasileira. As empresas de petróleo, em vista do reduzido mercado de óleo combustível, estão construindo e operando unidades de coqueamento retardado. Por outro lado o setor elétrico daquele país depende bastante das termoeletricas. Face as grandes restrições ambientais, a geração de eletricidade por via termica têm ocorrido baseado principalmente no gás natural. Assim de um lado sobra coque, do outro, importa-se gás do Canadá. Face ao exposto, as empresas de petróleo incentivadas pelo governo americano, desenvolveram um tipo de caldeira adaptada a queima de coque de petróleo, são do tipo leito fluidizado com recirculação. Processo semelhante ao das unidades de craqueamento catalítico. Usa-se o calcário como leito. A correta dosagem de calcário garante a baixa emissão de SO_x e NO_x . Nas California EUA, já há diversas unidades de 20 MW em operação, inclusive estão transformando velhas termoeletricas a óleo e gás, para o novo combustível (POWER, 1991).

Sobre esta questão de geração de energia elétrica, que entre outros usos, pode ser o incentivo ao transporte, mostra-se na tabela 8.21 uma série de eficiências térmicas, de acordo com a fonte de energia e a tecnologia.

8.16 Os petróleos nacionais da bacia de Campos produzem até 26% de resíduo de vácuo. É muito se comparado aos petróleos importados, que produzem em média 20% de resíduo. Assim aumentando a produção nacional, tenderá a aumentar a produção de óleo combustível.

TABELA 8.21
GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA POR COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS

COMBUSTÍVEL E TECNOLOGIA	CONSUMO KCAL/KWH	EFICIÊNCIA %	REFERÊNCIA
TECNOLOGIA CORRENTE			
CARVÃO MINERAL CALDEIRA CONVENCIONAL	2400 A 2595	32,4 A 34,5	DIVERSAS TERMICAS DOS EUA
ÓLEO COMBUSTÍVEL CALDEIRA CONVENCIONAL	2769	31,0	MEDIA DAS TERMICAS DOS EUA
GÁS NATURAL TURBINAS A GÁS	2745	31,4	MEDIA DE ALGUNS ESTADOS DOS EUA
CALDEIRA CONVENCIONAL	2753	31,2	MÉDIA DOS EUA
TECNOLOGIA AVANÇADA			
CARVÃO MINERAL : NOVOS PROJETOS	2419	35,5	NOVOS PROJETOS EUA
CICLO COMBINADO	2141	40,2	" "
IGCC (A)	2268	37,9	CALIFORNIA-EUA
IGCC/LEITO FLUIDIZADO	2032	42,3	TEXACO/PREFLO
COQUE DE PETRÓLEO : LEITO CATALÍTICO CIRCULANTE	-	-	CONOCO/CITIGO- EUA
GÁS NATURAL : CICLO COMBINADO: DIVERSAS TECNOLOGIAS	1830 A 2150	40,2 A 47	DIVERSOS PROJETOS PARA OS EUA
ÓLEOS COMBUSTÍVEIS: ULTRA-VISCOZO EM CALDEIRA CONVENCIONAL	2324	37	PROJETO DA TERMO- ELETRICA DA CESP
BAIXA VISCOSIDADE EM CICLO DIESEL	1810	47,5	TERMOELÉTRICA DA ILHA DA MADEIRA

FONTE : (WANG,1991 ; BROWN,1990 ; CESP ,1988)

(A) IGCC, é o ciclo combinado integrado a gaseificação de carvão.

Com relação a tabela 8.21 é necessário ressaltar que algumas tecnologias são consideradas limpas por se enquadrarem nos limites de emissão permissível pela legislação americana. Destacam-se as novas tecnologias relativas ao carvão e coque de petróleo, como gaseificação em leito fluidizado. A principal vantagem desta tecnologia é controlar a emissão dos gases ácidos.

Outro aspecto bastante interessante é que nos EUA estão considerando o coque de petróleo como uma fonte alternativa de energia. As mesmas tecnologias aplicadas a queima do carvão , podem ser utilizadas a queima do coque (WANG, 1991).

Na tabela 8.21, fica claro a grande eficiência dos motores diesel estacionários, bastante alta frente as outras tecnologias. Curiosamente segundo a literatura trata-se de uma experiência bem sucedida da empresa de eletricidade da ilha da Madeira - Portugal. O rendimento bruto na geração de energia elétrica é superior a 50%, descontado o consumo interno de energia a eficiência líquida é de 47,5% (BROWN, 1990).

É importante observar, que apesar de ser ciclo diesel, o combustível utilizado é similar ao óleo combustível nº 6, com a composição descrita acima. Verifica-se no catálogo da empresa construtora dos motores, que não há exigências especiais para o óleo utilizado^{8.17} (SULZER, 1990).

Para a geração de energia elétrica no Brasil, pode-se pensar em 3 rotas a partir do petróleo, os óleos ultraviscosos, o coque de carvão e os óleos de baixa viscosidade. Para discutir um pouco essa possibilidade comparou-se na tabela 8.22 a geração com óleo ultraviscoso e de baixa viscosidade.

TABELA 8.22
GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA : ULTRAVISCOSOS E CICLO DIESEL

ITEM	ULTRAVISCOSO	CICLO DIESEL
POTÊNCIA TOTAL	350 MW	350 MW
QUANTIDADE	1	12 MW
POTÊNCIA DE CADA GRUPO	350 MW	29,17 MW
CUSTO INVESTIMENTO \$ US\$/KW	1430	1000
EFICIÊNCIA TÉRMICA	37%	47,5 %
EMIÇÃO MÁXIMA DE SO ₂ MG/10 ⁶ KCAL	2000	5000
TEOR MÁXIMO DE ENXOFRE (a)	1,03	2,53
CUSTO DO ÓLEO (8.4) (b) US\$/BBL	20,36	16,45
CUSTO DO ULTRAVISCOSO BTE	18,27	-
CUSTO COMBUSTÍVEL US\$/TON	114,83	105,50
CONSUMO DE COMBUSTÍVEL G/KW (c)	230	183
CUSTO OPERACIONAL- COMBUSTÍVEL	26,41	19,31
CUSTO INV. E OUTROS 18%	35,75	25,00
CUSTO TOTAL US\$/MW-HR	62,16	44,31
CASO O ULTRAVISCOSO SEJA ATE(d)		
CUSTO INVESTIMENTO	1530	
TEOR DE ENXOFRE CONSIDERADO	5%	
CUSTO DO COMBUSTÍVEL US\$/TON	54,00	
CUSTO OPERACIONAL- COMBUSTÍVEL	12,42	
CUSTO INVESTIMENTO E OUTROS	40,75	
CUSTO TOTAL US\$/MW-HR (e)	53,17	

8.17 Esses grandes motores diesel utilizam-se dos chamados óleos pesados comercializados na maioria dos países, não tem qualquer exigência especial como poderia-se supor. Podem operar com até 5% de enxofre, a densidade pode ser de até 1,01 e 600ppm de vanádio. Pode-se dizer que operam com óleo combustível comum, apenas com a viscosidade máxima de 350 SSF @ 50 °C, baixa para os padrões brasileiros.

observações da tabela 8.22:

- (a) Calculado de acordo com a atual legislação ambiental.
- (b) Utilizou-se (8.4), no cálculo do ultraviscoso a conta foi completada descontando-se o valor do diesel equivalente, a operação foi refeita até se estimar o resíduo de vácuo com 1% de enxôfre, que seria comparado a um óleo de 0,79% de S.
- (c) Baseado no PCS de 10300 e 10100 KCAL/KG respectivamente.
- (d) No caso é necessário construir sistema de lavagem de gases, aumentando-se os investimentos e o custo operacional.
- (e) Apenas para efeito de comparação, adotou-se que todos os demais custos com exceção ao do combustível sejam 18% por ano do investimento.

Como conclusão deste item, pode-se ressaltar os seguintes pontos :

- (i) Deve-se pensar na complementação da geração de energia elétrica, por derivados de petróleo.
- (ii) Possíveis termoeletricas a ultraviscoso têm a desvantagem de se localizarem próximas das refinárias, que via de regra, situam-se em regiões industriais, de maior concentração de poluentes, e os habitantes da região não gostam de novas instalações, por temerem o agravamento das condições ambientais.
- (iii) O aproveitamento do coque de petróleo, apresenta vantagens em relação aos ultraviscosos, por ser um combustível mais barato, poder ser armazenado e transportado facilmente, e principalmente, por utilizar tecnologia mais adequada e moderna.
- (iiii) Pequenas centrais termicas movidas a óleo combustível com ciclo diesel, apresentam a vantagem da maior eficiência. Provavelmete, face ao reduzido porte são mais fáceis de serem implantadas. Isto é poderia-se implantar uma por cidade ou região, de acordo com a necessidade específica daquela região. A negociação dos problemas ambientais seria muito mais fácil, se comparada com uma grande termoeletrica.

BIBLIOGRAFIA

American Petroleum Institute - Petroleum Refining & Petrochemicals - October, 5 1992 Vol 39 nº40.

BARRA, M.E. ; BRITO, A.S. - LGN as a Vehicular Fuel - Brazilian Experience - Mangels Industrial S/A ,Brasil 1989.

BO, E. - Contributo dell'Autotrazione a GLP al Miglioramento Della Qualita Dell'Aria nei Centri Urbani - La rivista dei Combustibili - vol XLI Julho de 1987.

BROWN D.T. - Suizer ZA40S Engines on Madeira - Power. Outubro de 1990 pag 85-91.

COOPERSUCAR - Motores à Alcool na Agricultura Canavieira - Cadernos COOPERSUCAR , série agrônômica nº 007 Junho de 1984.

CRISTO, C. - O Programa de Gás Natural - Folha de São Paulo , pagina 2-2 , 20.10.92.

ESTON, W.E. ; WACHOCKIER , R.B. - Dual-Fuel System Methane-Diesel For Urban Buses - Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo , 1989.

Folha de São Paulo , pag 9-3 , 3.05.92 , Ecologia domina salão de carros de Turim.

FOSTER, J.S. - The Dual-Fuel Transit Bus - Pro Staff Fuels Ltd. Canada 1989. API 35-3766

Gazeta Mercantil , pag 11 , 25.09.92,- Preço estimula produtor.
Gazeta Mercantil , pag 13, 19.10, 92- Diesel sobe em termos reais.

GREENE, D.L. - Fuel Choice for Dual-Fuel Vehicles : An Analysis of the Canadian Natural Gas Vehicles Survey - SAE Technical Paper Series nº 892067 , EUA 1989.

HAGGIN, J.- New Wave of Methane Conversion Technology Expected Soon - Chemical Engineering, May 9, 1988 pag. 45 a 47.

HEENAN, J. - Dual-Fueling Diesel/NGV Technology - SAE Technical Paper Series nº 881655 , 1988 .

KAROLA, T.r - Environmentalists Views on Automotive Exhaust Gases - Catalysis And Automotive Pollution Control II 1991. Elsevier Science Publisher B.V. Amsterdam.

JENKINS, P. E. et alii - Performance Analysis of a Spark Ignited Engine with ETBE as a Blending Agent. Society of Automotive Engineers, Inc, 1990 .

LINDSAY, R. et alii - Automotive Diesel Fuel : The Balance Between Cost-Effectiveness and Environmental Acceptability - API 38-33160 , 1992 .

MIYAKE, M. Y.; CHUNG, S.L. ; TELHADA , M.A.L. - Caracterização do Proálcool no Estado de São Paulo. IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo.

MURGEL , E. M. - Veículos Automotores, O Proálcool e a Qualidade do Ar. Rio de Janeiro : CNI, COASE , 1990 .

POWER - Pet-coke fired CFBs leap to 100 MW, rescue old plant. Power, August 1991 pag.68-71.

QUATTRORUOTE, Sucesso in Due Tempi, pag 128 - 135. Quattro ruote , Agosto 1992 - Itália.

Platt's - Dilgram Price Report - Volume 70 nº 183 September 21, 1992 . McGraw Hill Inc. USA.

STODOLSKY, F. ; SANTINI, D.J. - The Efficient Use of Natural Gas in Transportation . API - 39 - 2523 - 1992 .

SHERWOOD, T. K. - Projeto De Processo da Indústria Química - Edgard Blucher, São Paulo 1972 .

SKOV, A. - Conversion Of Natural Gas to High Octane Gasoline Haldor Topsøe Inc. Houston - Texas.

SULZER - Catálogo , 1990.

TOMBI R. L. - Utilisation Du Gaz Naturel Comme Carburant Pour Les Transports En Commun En Regions Urbaines : Une Experience Au Bresil - Cia Brasileira de Petróleo Ipiranga. Rio de Janeiro Brasil.

WAGNER, T.O. ; TATTERSON, D.F. - Comparative Economics of Methanol and Gasoline. SAE - Technical Paper Series - 872061.

WANG, Q. & DELUCHI M. - Impacts of Electric Vehicles on Primary Energy Consumption and Petroleum Displacement- Institute of Transportation Studies, University of California. Energy Vol.17, No 4,p.351-366 1992.

CAPÍTULO IX

MODELO DE OFERTA DE DERIVADOS E CENÁRIOS FUTUROS

9.1 INTRODUÇÃO

O objetivo deste capítulo é propor alguns cenários para 1995, e quando possível quantificar as diferenças entre os cenários. Para tanto se desenvolverá um modelo simplificado da oferta de derivados de petróleo para o Brasil, que agrupado aos modelos desenvolvidos nos capítulos 5,6,7 desta dissertação, possibilitarão a análise dos cenários propostos.

9.2 MODELO SIMPLIFICADO DE OFERTA DE DERIVADOS

No capítulo 3, mostrou-se a evolução do refino do petróleo, desde de o seu descobrimento em escala comercial, até os dias de hoje. Mostrou-se também os diversos tipos de unidades de refino, que influenciam os rendimentos dos produtos. No capítulo 2 comentou-se os diferentes tipos de petróleo. Com base nos comentários dos capítulos anteriores pode-se afirmar que um modelo de oferta de derivados é extremamente complexa e influenciada por uma grande gama de fatores^{9.1}. Apesar disto, apenas para efeito de comparação de cenários, sugere-se um modelo que permita a análise das grandes questões dos cenários futuros. Para o desenvolvimento do modelo, assumiu-se uma série de simplificações. A principal foi admitir apenas um tipo de petróleo nacional, um único tipo de petróleo importado, porém com opção de uma de campanha diferente. Assume-se outras simplificações, como tratar os diferentes tipos de diluentes de óleo combustível, pelas características médias.

Outro aspecto foi considerar o esquema de refino para o Brasil em transição. Isto é: basicamente as refinarias são semelhantes as do tipo 2, analisadas no capítulo 3 desta dissertação, recebendo investimentos para serem transformadas em refinarias do tipo 4. Pode-se dizer que isto está acontecendo na realidade. Para o Brasil estão em projeto as unidades de coqueamento retardado para a Refinaria de Paulínia -REPLAN, e caso aumente a produção de petróleo nacional, ou o aumento do consumo do gás natural diminua o consumo de óleo combustível, será necessário construir outras unidades. Isto será ressaltado na análise dos cenários.

9.1 A PETROBRÁS tem um modelo bastante completo, desenvolvido com programação linear que otimiza o abastecimento do mercado e determina a prioridade dos investimentos em oleodutos, unidades de refino e etc.

Além das unidades de coqueamento retardado, as refinarias da PETROBRÁS deverão receber nos próximos anos mais unidades de hidrotratamento, para poder produzir diesel com teor de enxofre enquadrado nas novas especificações do CONAMA, e aproveitar as correntes instáveis das unidades de coqueamento retardado para a produção de diesel.

Outro ponto assumido pelo modelo, é considerar que não mais serão construídas unidades de desasfaltação, considerando no entanto os efeitos das duas unidades já existentes 9.2.

O tipo de esquema de refino considerado para o Brasil aparentemente é o adotado por outros países. Um recente estudo para a comunidade econômica européia, assume hipóteses semelhantes a situação do refino no Brasil, isto é: tendência de aumento do teor de enxofre do petróleo e do rendimento dos produtos pesados, maior custo do hidrocraqueamento, possibilidade de vender o coque para centrais termoeletricas, praticamente concluindo pela rota do coqueamento retardado, para as refinarias da Europa (BARNWELL, 1991).

A seguir apresenta-se a tabela 9.1 um resumo dos principais valores assumidos para o modelo em questão.

TABELA 9.1
RENDIMENTOS DO PETRÓLEO E DAS CORRENTES INTERMEDIÁRIAS
A DESTILAÇÃO

	PETRÓLEOS	
	NACIONAL	IMPORTADO
GÁS (REND. EM PESO) EM %	1	1
GLP (REND. VOLUMÉTRICO) %	2	2
NAFTA "	9	12
DIESEL (MÉDIOS) "	41	44
GASÓLEO "	23	19
RESÍDUO DE VÁCUO "	24	21
NO CRAQUEAMENTO CATALÍTICO	GASÓLEO	
GÁS (REND. EM PÊSO)	(5)	
GLP (RENDIMENTO VOLUMÉTRICO)	27	
NAFTA CRAQUEADA	55	
DILUENTES (OLR, O. DECANTADO)	23	
RENDIMENTO VOLUMETRICO	105	
NO COQUEAMENTO RETARDADO	RESÍDUO DE VÁCUO	
GÁS (REND.EM PÊSO)	(4,5)	
GLP (REND. VOLUMÉTRICO)	5,3	
NAFTA DE COQUE (CRAQUEAMENTO)	10,0	
GASÓLEO LEVE (HIDROTRATAMENTO)	21,7	

9.2 Hoje há duas unidades em operação, na Refinaria do Paraná - REPAR e Refinaria Henrique Laje -REVAP, que foram computadas no modelo. Há também unidades de desasfaltação na produção de lubrificantes, ou seja na Refinaria Duque de Caxias-REDUC, e Landulfo Alves -RLAM. Estas são diferentes das primeiras, o resíduo asfáltico se aproxima mais do resíduo de vácuo, e não foram levadas em conta.

Admitiu-se, que as unidades de desasfaltação não serão mais construídas no Brasil, por aumentarem a produção de gasolina e não serem tão eficazes na "destruição" de óleo combustível, como as unidades de coqueamento retardado.

TABELA 9.1 -CONTINUAÇÃO

GASÓLEO PESADO (CRAQUEAMENTO)	27,0
COQUE DE PETRÓLEO (REND. EM PÊSO)	(32,5)
RENDIMENTO VOLUMÉTRICO	64,0

RENDIMENTOS DO PETRÓLEO E DAS CORRENTES INTERMEDIÁRIAS

PLANTAS DE GASOLINA NATURAL	GÁS NATURAL
GLP (RENDIMENTO VOLUMÉTRICO (A))	1,0
GASOLINA NATURAL "	0,5

PRODUÇÃO DE ÓLEO COMBUSTÍVEL COM RESÍDUO DE VÁCUO (RV)	
PARA MERCADO INTERNO - % DE DILUENTE	35
PARA MERCADO EXTERNO - % DE DILUENTE	45
COM RESÍDUO ASFÁLTICO (RASf)	
PARA MERCADO INTERNO - % DE DILUENTE	50

(A) Admitido em relação a produção de petróleo nacional.

Na tabela 9.1 apresentou-se os principais rendimentos dos produtos líquidos, no caso o gás e o coque mostrou-se o rendimento mássico. Algumas unidades, notadamente o craqueamento catalítico, têm um rendimento volumétrico maior que 100%. No caso da unidade de coque, todos os produtos líquidos, são reprocessados em outras unidades por razões de qualidade. Assim a nafta e o gasóleo pesado de coque são enviados ao craqueamento catalítico, análogamente, o gasóleo leve para ser utilizado como diesel, deve ser hidrotratado.

As plantas de gasolina natural têm como carga, o gás natural, que no Brasil é obtido principalmente associado ao petróleo. Assim correlacionou-se a produção de GLP e gasolina natural diretamente ao petróleo, sendo portanto mais uma simplificação.

Apresenta-se as correlações da produção de GLP, gasolina, diesel e óleo combustível em função da quantidade de petróleo refinado, e o tipo, se importado ou nacional.

$$\text{COMB} = 0,32.\text{PETNAC} + 0,283.\text{PETIMP} - 1,35.\text{COQE} - 30144 \quad (9.1)$$

$$\text{GASO} = 0,155.\text{PETNAC} + 0,123.\text{PETIMP} + 0,258.\text{PETRAT} + 0,2925.\text{COQE} + 18267 \quad (9.2)$$

$$\text{COQUE} = 0,052.\text{COQE} \quad (9.3)$$

$$\text{GLP} = 0,092.\text{PETNAC} + 0,071.\text{PETIMP} + 0,128.\text{PETRAT} + 0,126.\text{COQE} + 8162 \quad (9.4)$$

$$\text{MEDIO} = 0,351.\text{PETNAC} + 0,419.\text{PETIMP} + 0,488.\text{PETRAT} + 0,279.\text{COQE} + 11605 \quad (9.5)$$

$$\text{DIESEL} = \text{MEDIO} - \text{QAV} - \text{QI} \quad (9.6)$$

$$\text{NPET} = 0,09.\text{PETNAC} + 0,12(\text{PETIMP}+\text{PETRAT}) - \\ -0,15.\text{GASO} \quad (9.7)$$

Nas equações anteriores, todas as vazões são expressas em barril por dia (BPD), com exceção da produção diária de coque (COQUE) expressa em toneladas por dia. PETNAC e PETIMP são as vazões de petróleo nacional e importado respectivamente. Para um parque de refino como o brasileiro, que tem alta capacidade de craqueamento catalítico^{9.3}, há um tipo de operação muito atraente que consiste na destilação nas torres atmosféricas de alguns tipos de petróleos especiais, de baixo teor de metais, o resíduo atmosférico (RAT) assim obtido é enviado diretamente as unidades de craqueamento catalítico, e desta forma não há produção de óleo combustível. Este tipo de petróleo foi assumido como tendo o mesmo rendimentos na destilação que o petróleo importado e foi chamado de PETRAT.

As vazões dos produtos foram relacionados da seguinte forma: óleo combustível por COMB; gasolina por GASO; GLP pela própria abreviação; nafta petroquímica por NPET; óleo diesel por DIESEL; querosene de aviação por QAV e o de iluminação por QI.

No modelo aparecem também algumas correntes intermediárias como a nafta de destilação direta (NDD): as demais naftas, como a craqueada as provenientes das plantas de gasolina natural, estão representadas por NOUTRAS. Há também a questão dos derivados médios representados por MEDIO.

A carga do coqueamento retardado esta representado por COQE. No modelo é uma variável porque entende-se que além das unidades existentes serão contruídas outras. Ao contrário das unidades de desasfaltação que por produzirem muita gasolina, assume-se que não mais serão construídas no Brasil. O termo constante das equações, esta associado principalmente as unidades de desasfaltação.

A seguir apresenta-se equações referentes a efeitos marginais, da exportação de óleo combustível, aumento do mercado interno de ultraviscosos, o balanço de diluentes correlacionado a carga de hidrotratamento.

$$\text{COMBEX} = \text{COMB1} + \text{DIL1} \quad (9.8)$$

$$\text{DIL1} = 0,074.\text{COMB1} \quad (9.9)$$

$$\text{COMB2} = - 0,35 \text{ ULTRA} \quad (9.10)$$

$$\text{DIL2} = + 0,35 . \text{ULTRA} \quad (9.11)$$

As equações acima representam os efeitos provocados por um excesso de óleo combustível no mercado interno, representado por COMB1, que seria exportado porém recebendo uma quantidade

^{9.3} Com a entrada em operação da segunda unidade de craqueamento catalítico da REPLAN em novembro de 1992, a capacidade de craqueamento da PETROBRÁS é 31% da capacidade de destilação. É um porcentual alto em relação a outros parques de refino.

adicional de diluente DIL1. Sendo exportado portanto o total COMBEX. No caso, de óleos combustíveis de menor viscosidade como os usados nos motores diesel de grande porte, como os comentado na seção 8.4.5 desta dissertação.

Por outro lado o aumento do consumo dos óleos ultra-viscosos, como os OC8 e OC9, ou mesmo os asfaltos, na quantidade ULTRA, ocasionam uma redução na produção de óleo combustíveis combustível COMB2, e uma sobra de diluentes DIL2.

A seguir no modelo, realiza-se um balanço de diluentes, que tem influência sobre, carga das unidades de hidrotratamento, que por sua vez determina o consumo de hidrogênio.

$$PDIL = 0,053.PETNAC + 0,044.PETIMP + 0,092.PETRAT + 0,062.COQE + 5782 \quad (9.12)$$

$$CDIL = 0,080.PETNAC + 0,074.PETIMP + 15072 \quad (9.13)$$

$$DELTA_{DIL} = PDIL - CDIL + DIL2 - DIL1$$

$$DELTA_{DIL} = -0,027.PETNAC - 0,03.PETIMP + 0,092.PETRAT + 0,062.COQE - 9290 + DIL2 - DIL1 \quad (9.14)$$

$$DELTA_{OD} = -0,054.PETNAC - 0,052.PETIMP + 0,046.PETRAT + 0,031.COQE - 12181 + DIL2 - DIL1 \quad (9.15)$$

$$HDT = 0,205.PETNAC + 0,22(PETIMP + PETRAT) + DELTA_{DIL} + 0,217.COQE \quad (9.16)$$

Nas equações acima PDIL representa a produção de diluentes, isto é correntes intermediárias produzidas principalmente na unidade de craqueamento catalítico, o óleo leve de reciclo - OLR e o óleo decantado - OD. O gasóleo leve de coque também pode compor o pool de diluentes. Quando há disponibilidade de unidades de hidrotratamento, tanto o gasóleo leve de coque, quanto o OLR podem ser incorporados ao pool de óleo diesel. O OD, só pode ser utilizado como diluente, ou na produção de negro de fumo, quando é chamado de resíduo aromático. Havendo excesso de OD, é usado como carga da unidade de coqueamento retardado.

Analogamente PDIL representa o consumo de diluentes. $DELTA_{DIL}$ é a diferença, entre a produção e o consumo de diluentes. HDT representa a carga de hidrotratamento, considerando-se que metade do diesel de destilação direta deva ser hidrotratada, e mais a sobra de diluentes.

Como o OD não pode ser usado no pool de diesel, verifica-se, se esta havendo sobras no caso representado por $DELTA_{OD}$. Quando este termo é positivo, significa uma situação desinteressante sob alguns aspectos^{9.4}, por se utilizar o OD como carga da unidade de coqueamento retardado.

9.4 Caso isto ocorra para a produção algum tipo especial de coque, justifica-se a operação. Caso contrário, o valor marginal do óleo decantado seria igual ao do resíduo de vácuo. Em outras palavras significaria que o programa de venda de óleos ultraviscosos não teria mais sentido.

Uma série de outras considerações poderiam ser feitas, por exemplo, verificar até que ponto as correntes instáveis, podem compor o pool de óleo diesel sem criar problemas de qualidade, porém face aos objetivos do modelo não explora-se esta questão. Um aspecto interessante, entretanto é explorar a possibilidade de no Brasil, por pressão dos órgãos ambientais, se introduzir para o óleo diesel uma especificação semelhante a praticada na maioria dos países, e que foi utilizada no Brasil até 1979. Isto é limitar a faixa de destilação do diesel para 90% destilado a temperatura máxima de 360 ºC. Atualmente limita-se 85% destilado na temperatura de 370 ºC. Neste caso de 3 a 4% do petróleo processado, sairiam da corrente de diesel, indo para a corrente de gasóleo, os efeitos incrementais são expressos pelas relações abaixo.

$$\text{DELTA}_{\text{DIESEL}} = 0,035.(\text{PETNAC} + \text{PETIMP} + \text{PETRAT}) \quad (9.17)$$

$$\text{DELTA}_{\text{GASO}} = 0,019.(\text{PETNAC} + \text{PETIMP} + \text{PETRAT}) \quad (9.18)$$

$$\text{DELTA}_{\text{GLP}} = 0,009.(\text{PETNAC} + \text{PETIMP} + \text{PETRAT}) \quad (9.19)$$

$$\text{DIL3} = 0,008.(\text{PETNAC} + \text{PETIMP} + \text{PETRAT}) \quad (9.20)$$

No caso $\text{DELTA}_{\text{DIESEL}}$ representa um incremento negativo à produção de diesel, estimada por (9.5 e 9.6). Da mesma forma $\text{DELTA}_{\text{GASO}}$ e $\text{DELTA}_{\text{GLP}}$ representam incrementos positivos de gasolina e GLP previstas por (9.2) e (9.4). A produção de diluentes também é incrementada positivamente por DIL3.

Na tabela 9.2, mostra-se algumas simulações usando o modelo proposto. Pode-se observar que as rotas de refino, que levam a situações desejáveis de redução da produção de óleo combustível e aumento da produção de médios aumentam a produção de gasolina. De um modo geral as rotas que aumentam a produção de GLP, como o craqueamento de RAT, aumentam a produção de gasolina.

Outro aspecto interessante é que caso houvesse no Brasil, capacidade suficiente de unidades de hidrotratamento, o incentivo aos óleos ultraviscos ainda seria interessante, porque liberaria parcela de médios para o pool de diesel. Como já comentado a situação limite desta opção seria a sobra de OD, verificado por (9.15). Mas por (9.14) observa-se ainda o consumo de diesel atmosférico como diluente nas situações analisadas.

Por outro lado, a exportação de combustível não é interessante, além do preço ser baixo, ainda há quantidade apreciável de diluente sendo exportada. Uma grande exportação de óleo combustível, pode ocorrer, se houver atraso na construção das unidades de coqueamento retardado, neste caso haveria exportações significativas de óleo combustível.

É interessante ressaltar que havendo a operação de unidades de hidrotratamento, haveria também a operação de unidades geradoras, de hidrogênio que se utilizariam de nafta ou gás natural ou de refinaria, como matéria prima. Este consumo não foi computado, como também o consumo de óleo combustível no refino.

TABELA 9.2
OPÇÕES DO REFINO PARA 1995 NO BRASIL

PETRÓLEO NACIONAL BPD		800.000		900.000	
PETRÓLEO IMPORTADO	"	200.000	350.000	300.000	450.000
PETRÓLEO PARA RAT	"	100.000	150.000	150.000	150.000
TOTAL DE PETRÓLEO 1000 BPD		1.100	1.300	1.350	1.500
CARGA UNIDADE DE COQUE "		62.000	77.000	93.000	110.000
PRODUÇÕES					
GLP	(9.4)	116.572	135.514	141.164	155.972
NAFTA PETROQUÍMICA	(9.7)	76.665	95.400	96.894	110.604
GASOLINA	(9.2)	208.902	244.069	254.040	282.642
MEDIOS	(9.5)	442.303	510.528	552.352	619.945
DIESEL	(9.8)	384.730	452.858	494.782	562.375
O.COMBUSTÍVEL	(9.1)	198.756	220.956	238.806	236.706
COQUE DE PETRÓLEO T/D	(9.3)	3.204	3.979	4.806	5.720
EFEITOS MARGINAIS					
20.000 BPD O.C. ULTRAVISCOZO		CONSUMO INTERNO			
+ DILUENTE (DIESEL)	(9.11)	7.000	7.000	7.000	7.000
- PRODUÇÃO O.COMB	(9.10)	7.000	7.000	7.000	7.000
20,000 BPD O.C. EXCESSO		EXPORTAÇÃO DE O.COMBUSTÍVEL			
- DILUENTE (DIESEL)	(9.9)	1.400	1.400	1.400	1.400
O.COMB. EXPORTADO	(9.8)	21.400	21.400	21.400	21.400
OUTROS PARÂMETROS					
DIESEL PARA DILUENTE	(9.14)	23.846	22.816	29.924	34.870
CARGA HDT	(9.16)	219.608	267.893	283.757	326.500
MUDANÇA DA ESPECIFICAÇÃO DO ÓLEO DIESEL					
- DIESEL	(9.17)	38.500	46.500	47.250	52.500
+ GASOLINA	(9.18)	20.900	25.243	25.650	28.500
+ GLP	(9.19)	9.900	11.957	12.150	13.500

9.3 CENÁRIO INTERNACIONAL

Conforme comentado na seção 7.2 desta dissertação, a probabilidade de haver uma elevação brusca no preço do petróleo é relativamente baixa, entre outras razões porque os preços dos derivados tenderão a aumentar, independentemente do preço do petróleo. Outro aspecto abordado é a competição do petróleo com outras fontes de energia. Acredita-se que o preço mais provável

do petróleo seja US\$ 20,00 por barril, US\$ de 1990. Este seria o preço de referência das grandes praças comercializadoras, o preço de importação por exemplo, para o Brasil, seria maior, por incluir os custos de transporte.

Apesar de se considerar o preço mais provável o anteriormente mencionado, nos cenários estuda-se a hipótese do preço do petróleo chegar a 30,00 US\$ por barril. A seguir na tabela 9.3 mostra-se os principais parâmetros destes cenários.

TABELA 9.3
CENÁRIOS INTERNACIONAIS PARA O PETRÓLEO E DERIVADOS

PREÇOS US\$/BARRIL, US\$ DE 1990	HIPÓTESE	1	2
PETRÓLEO DE REFERÊNCIA	SEÇÃO 7.2	20,00	30,00
GASOLINA - INTERNACIONAL	(7.9)	26,1	38,90
" CONSUMIDOR EUA	(7.10)	43,80	57,30
" EXPORTAÇÃO BRASIL	(8.6)	24,01	35,80
DIESEL - INTERNACIONAL	(7.10)	25,34	37,80
% DE CONSUMO DOS DERIVADOS EM RELAÇÃO AO PETRÓLEO NO MUNDO			
DIESEL (MÉDIOS EM GERAL)	(7.3)	36,2	35,8
GASOLINA	(7.3)	33,7	33,3
OUTROS (a)	(7.4)	21,2	21,2
ÓLEO COMBUSTÍVEL (b)	(7.4)	2.8-8,9	2.8-9,7
DEMANDAS : EM 10 ⁶ BPD			
HIPÓTESE: NÃO HÁ REPASSE DO CUSTO DOS OXIGENADOS PARA GASOLINA			
GASOLINA NOS EUA	(7.5)	7,764	7,367
DE OXIGENADOS NOS EUA	SEÇÃO 7.5	0,554	0,554
DE GASOLINA "PURA"	(7.7)	7,210	6,810
GASOLINA NO MUNDO (c)	(7.6)	16,312	15,406
DIESEL	(7.3)	17,522	16,562
PETRÓLEO NO MUNDO (d)	(7.3)	48,403	46,264
PETRÓLEO NO MUNDO TOTAL (e)	(7.3)	61,865	59,726
HIPÓTESE: HÁ REPASSE DO CUSTO DOS OXIGENADOS PARA A GASOLINA (f)			
(NOVO PREÇO DA GASOLINA)	SEÇÃO 7.5	50,10	63,60
GASOLINA NOS EUA	(7.5)	7,311	6,916
DE OXIGENADOS NOS EUA	SEÇÃO 7.5	0,554	0,691
DE GASOLINA "PURA"	(7.7)	6,757	6,225
GASOLINA NO MUNDO	(7.6)	15,218	14,020
DIESEL "	(7.3)	16,367	15,060
PETRÓLEO NO MUNDO (d)	(7.3)	45,210	42,067
PETRÓLEO NO MUNDO TOTAL (e)	(7.3)	58,672	55,529
DEMANDA DE PETRÓLEO PELO MODELO " OPEP" - SEÇÃO 7.3			
CONSUMO DE PET. MUNDO(1) 10 ⁶ BPD	(7.1)	48,9	45,8
VENDA DE PET OPEP 10 ⁶ BPD	(7.2)	23,5	12,60

OBSERVAÇÕES DA TABELA 9.3

- (a) - São principalmente os produtos usados na indústria petroquímica e o GLP.
- (b) - As diferenças estão sendo absorvidas pelo óleo combustível. Na realidade, o consumo de óleo combustível está caindo, e poderia chegar ao primeiro número indicado. Isto significaria que o refino a nível mundial estaria operando com alta capacidade de conversão, possibilitando uma redução no consumo global de petróleo.
- (c) - Admite-se que os demais países tenham um comportamento similar ao dos EUA.
- (d) - As estatísticas disponíveis, ainda separam o mundo entre países não socialistas e socialistas. Neste caso o consumo refere-se aos países não socialistas.
- (e) - Inclui consumo dos antigos países socialistas.
- (f) - O preço dos produtos oxigenados normalmente utilizados como o MTBE, é maior que a gasolina. Desta forma, espera-se um acréscimo no preço da gasolina ao consumidor na maioria dos países.

Tendo em vista o Brasil em relação ao mundo, alguns comentários devem ser feitos em relação a tabela 9.3.

O primeiro ponto é a possibilidade de exportar gasolina. Este mercado está em retração, depende principalmente de como os outros países incentivarão o transporte coletivo em detrimento do uso do automóvel. Um aumento do preço do petróleo aumentaria esta tendência, e a procura por veículos mais eficientes, levando ao menor consumo de gasolina, como mostrado na tabela 9.3.

Outra questão importante para o mercado de gasolina são os produtos oxigenados, espera-se até 1995 alta procura por esses produtos em particular o MTBE. Um aumento do preço do petróleo, ou o agravamento da situação ambiental das grandes cidades pode acelerar este processo.

É muito difícil saber qual a quantidade de gasolina exportável, face todas essas variáveis. Paradoxalmente, a maior procura por produtos oxigenados, agrava a política brasileira de substituição de gasolina por álcool, porque a medida que outros países pratiquem política semelhante^{9.5}, vai diminuindo o mercado mundial do produto. Pode-se dizer que exportar álcool é muito difícil porque a maioria dos países procuram incentivar as agriculturas locais. O aumento do preço do petróleo, pode incentivar a produção de álcool de origem agrícola, para ser misturado a gasolina em diversos países.

Outro ponto preocupante é o mercado de óleo combustível, que está caindo em termos de consumo, portanto diminuindo o preço relativo em relação ao petróleo, e tornando-se seletivo quanto ao teor de enxofre.

Caso o consumo de óleo continue caindo, refinarias mais simples como as do esquema 1 e 2, mostrado no capítulo 3 desta dissertação, não terão compatibilidade. O refino de petróleo a nível mundial, deverá aumentar muito a capacidade de conversão. As unidades de coqueamento retardado serão quase obrigatórias numa primeira etapa.

9.5 Os países que têm programa de uso de produtos oxigenados na gasolina o fazem por misturas de até 15% em volume, fixando um valor máximo de oxigênio.

Ocorrendo a entrada dos oxigenados, a redução do consumo de gasolina e óleo combustível, a conversão deste último em produtos leves, possibilitara a estabilização do consumo de petróleo, que não terá grande aumento de preços, ao contrário dos derivados como o diesel, que aumentara o custo de produção, principalmente devido ao hidrotreatamento.

Na tabela 9.3, apresentou-se um preço "inercial" do óleo diesel. Mas os custos de refino, para atender os novos requisitos de qualidade estão aumentando como comentado na seção 8.4.1. Para o Brasil, há as seguintes questões em relação ao óleo diesel. É muito difícil fixar um volume importável, que seja economicamente e estrategicamente aceitável. Por outro lado o preço de importação em relação a tabela 9.3 seria aumentado tendo em vista o transporte. Outro aspecto é a qualidade interna do produto. Se continuar defasada da qualidade exigida pelos principais países consumidores, o preço de importação, será comparável ao preço do petróleo. Caso se adote uma especificação semelhante a de outros países, o custo de importação vai aumentar, em relação ao apresentado na tabela 9.3.

9.3.1 CENÁRIOS PARA O BRASIL EM 1995

A seguir comenta-se algumas possibilidades dos principais energéticos. Admite-se que basicamente não ocorrerão mudanças na política energética brasileira, ou seja não será introduzido um planejamento de longo prazo. As tarifas seriam fixadas sob a ótica de conter a inflação, mas sem aumentar os déficits. A PETROBRÁS teria dificuldade em aumentar a produção de petróleo, que ficaria entre 800.000 e 900.000 bpd. A produção de álcool variaria de acordo com os preços interno pago ao produtor e o preço internacional do açúcar. O GLP continua sendo importado. Uma incógnita seria a compra de gás da Bolívia e ou da Argentina, e o uso dado ao gás.

Outra grande variável será a força das organizações de controle do meio ambiente, como a CETESB, IBAMA e etc, que serão pressionadas por grupos ecológicos. Uma aplicação rigorosa das resoluções CONAMA/91, pode alterar rapidamente a possibilidade de uso de óleos de alto teor de enxofre, forçando a exportação deste produto, e dificultando a produção de diesel^{9.4}. A seguir apresenta-se na tabela 9.4 os principais parâmetros deste cenário.

9.4 Normalmente os petróleos importados que têm alto rendimento de óleo diesel e razoavelmente pequena de óleo combustível, adaptado ao perfil brasileiro, produzem diesel e óleo combustível de alto teor de enxofre. Exemplo: petróleo Árabe leve.

TABELA 9.4
CENÁRIO INERCIAL PARA 1995 - PETRÓLEO A 20,00 US\$/BBL

ITEM	HIPÓTESE	A	B
PARÂMETROS MACROS			
POPULAÇÃO EM MILHÕES	IBGE 1988	165	165
POPULAÇÃO URBANA EM MILHÕES	TABELA 5.25	128	128
PIB PER CAPITA EM US\$/ANO	ASSUMIDA	2000	2200
PIB AGRÍCOLA EM 10 ⁹ US\$/ANO	ASSUMIDA/5.3.4	37,00	42,00
PRODUÇÃO DE PETRÓLEO NACIONAL " EM BPD	ASSUMIDA	800.000	900.000
ÓLEO DIESEL DETERMINA O REFINO DE PETRÓLEO			
ÔNIBUS EM CIRCULAÇÃO : 1000	(5.28)	189,9	207,5
ÔNIBUS URBANOS : 1000	8.4.2/(a)	128,0	140,0
DEMANDAS: EM 1000 BARRIL/DIA	5.3.4		
DO SETOR AGRÍCOLA	(5.25)	92,47	122,69
DO SETOR RODOVIÁRIO	(5.27)	360,52	402,38
DEMAIS SETORES	(5.3.1)	40,40	40,40
TOTAL		493,39	565,65
GASOLINA E ÁLCOOL			
VENDA VEÍCULOS A GASOLINA PREÇO DO AUTOMÓVEL	70% 60 A 100 SALÁRIOS MÍNIMOS		
PREÇO DA GASOLINA US\$/M ³	TABELA 6.16	470,00	540,00
PREÇO DO ÁLCOOL - CONSUMIDOR	TABELA 5.17	375,00	430,00
PREÇO DO ÁLCOOL HIDRA. PRODUTOR	TABELA 8.2	438,34	438,34
PREÇO DO ÁLCOOL ANIDRO "	TABELA 8.3	491,12	491,12
FROTA A GASOLINA	TABELA 5.17	4603405	4603405
FROTA A ÁLCOOL	TABELA 5.17	4410500	4410500
CE FROTA A GASOLINA	" "	11,73	11,73
CE FROTA A ÁLCOOL	" "	9,25	9,25
KM-VEÍCULOS GASOLINA	" "	22931	22131
KM-VEÍCULOS A ÁLCOOL	" "	19710	23100
CONSUMO GASOLINA TOTAL BPD	" "	154787	149387
" ÁLCOOL ANIDRO "	" "	34071	32885
" GASOLINA PURA	" "	120716	118522
" ÁLCOOL HIDRATADO	" "	161327	189074
OUTROS CONSUMOS			
ÓLEO COMBUSTÍVEL	(5.32)/TAB.5.23	186.690	210.056
GLP :			
CONSUMO PER CAPITA KG/ANO HAB.	TAB. 5.28	45,06	49,07
CONSUMO EM BPD		228.430	248.759
ASFALTOS "	MÉDIA 1991	14.254	14.254
NAFTA PETROQUÍMICAS "	MÉDIA 1991	135.700	135.700
QI+QAV+ AGUARRAS "	MÉDIA 1991	57.500	57.500
GÁS NATURAL (ATUAL) T/D	" 1991	8.800	8.800
COQUE DE PETRÓLEO T/D	MÉDIA 1991	1.485	1.485

TABELA 9.4 CONTINUAÇÃO
CENÁRIO INERCIAL PARA 1995 - PETRÓLEO A 20,00 US\$/BBL

ITEM	HIPÓTESE	A	B
REFINO DE PETRÓLEO			
PETRÓLEO NACIONAL -BPD		800.000	900.000
" IMPORTADO BPD		350.000	450.000
PETRÓLEO " -RAT "		150.000	150.000
PRODUÇÃO NACIONAL DE DERIVADOS			
GLP		135.514	155.972
NAFTA PETROQUÍMICA		95.400	110.804
GASOLINA		244.092	282.842
ÁLCOOL		207.000	207.000
DIESEL		452.958	562.375
ÓLEO COMBUSTÍVEL		220.956	236.706
COQUE DE PETRÓLEO (T/D)		3.979	5.720
SOBRAS/IMPORTAÇÃO/EXPORTAÇÃO			
GLP	IMPORTAÇÃO	92.916	92.787
NAFTA PETROQUÍMICA	IMPORTAÇÃO	40.300	25.096
GASOLINA	EXPORTAÇÃO	123.376	166.120
ÁLCOOL	SOBRA/(FALTA)	+11.602	-14.939
DIESEL	IMPORTAÇÃO	40.432	3.275
ÓLEO COMBUSTÍVEL		220.956	236.706
COQUE DE PETRÓLEO		2.494	4.235
EFEITOS MARGINAIS			
(ASFALTO EXP. O.COMBUSTÍVEL)			
DIESEL A MAIS (+) OU MENOS (-)		+3.938	+4.470
O.COMBUSTÍVEL		-3.938	-4.470
CONTABILIDADE DO ÁLCOOL 10 ⁹ US \$/ANO *			
GASOLINA SUBSTITUÍDA BPD		148.252	168.098
VALORIZAÇÃO M.EXTERNO 10 ⁹ US\$*	TABELA 9.3	1.299	1.473
ARREC. INTERNA GASOLINA SUBS.	P.CON.S.- P.PROD	314/M ³	389/M ³
" " " SUBS/ANUAL *	" "	2,702	3,795
ARREC. INTERNA ÁLCOOL ANIDRO	" "	-21,12	+48,88
ARREC. INTERNA ÁLCOOL HIDRATADO	" "	-63,40	- 8,34
ARREC. INTERNA TOTAL ÁLCOOL *		-0,551	+ 0,01
ARREC. ÁLCOOL - ARREC.GASOLINA*		- 3,253	- 3,794
GERAÇÃO DE DIVISAS-		1,299	1.473

A seguir comenta-se alguns aspectos do cenário descrito pela tabela 9.4 . O ponto que mais chama atenção é a grande perda de arrecadação que ocorre com a comercialização do álcool. Convém notar que o preço real pago ao produtor varia, o valor considerado pode ser um pico, no entanto os valores históricos levantados no capítulo 6 desta dissertação, mostram que sempre o valor pago ao álcool é superior ao preço de exportação da

gasolina. Convém ressaltar que esta questão, afeta principalmente a arrecadação de impostos no Brasil. A PETROBRÁS é afetada indiretamente face a existência de saldos negativos da conta álcool e conta petróleo. Caso o saldo destas contas seja zerado com aporte de recursos do Banco Central, como é previsto, pelas normas que criaram a conta álcool o prejuízo passa a ser exclusivamente da sociedade. Para esclarecimento desta questão, basta verificar na tabela 8.2 o preço da gasolina pago a PETROBRÁS, de 26,00 US\$ por barril, praticamente o mesmo preço do mercado externo. Isto é para a PETROBRÁS se funcionar os mecanismos já estabelecidos, a comercialização da gasolina no mercado interno ou externo têm pouca diferença. Isto também se verificou com os dados históricos da tabela 6.8. Para o futuro, se diminuir o mercado internacional de gasolina, certamente caíra o preço da gasolina, neste caso, a exportação da gasolina pode ser mais prejudicial a PETROBRÁS.

Observando-se os dois cenários da tabela 9.4, pode-se notar que facilmente passa-se da sobra a falta de álcool. Não há flexibilidade no mercado consumidor/produtor. Assim corre-se o risco de importação de produtos oxigenados. Sugere-se que os novos carros sejam regulados para a nova gasolina, com até 10% de álcool, conforme comentado na seção 8.2.6 desta dissertação. Além disto sugere-se para os próximos anos que a produção de carros a álcool fique em torno de 30% comercializado no mercado interno. Valores superiores, poderão tornar o abastecimento muito vulnerável a uma queda de produção de álcool.

Há uma tendência do Brasil continuar sendo importador de nafta. Na realidade há alguns tipos de petróleos reconstituídos bastante leves, chamados de condensados, que quando refinados, produzem quantidade significativa de naftas, permitindo o acerto do mercado. Aparentemente não é um ponto problemático.

Outro produto com clara tendência de importação é o GLP. Este produto apresenta uma aparente sobra no mercado internacional. Ocorre devido a limitação de PVR da gasolina americana, porém algumas correntes do GLP estão sendo usadas na produção de MTBE. Outros países estão incentivando o uso de propano em automóveis. Desta forma o mercado futuro é incerto. Deve-se pensar em maneiras de substituir o GLP.

Outro aspecto é a geração de energia elétrica. Há duas rotas novas. A geração por ciclo diesel, por óleo combustível que seria exportado e coque de petróleo. Nos cenários analisados, há necessidade de se construir unidades de coque, que provocarão uma oferta de coque no mercado.

O uso do coque de petróleo para geração de energia elétrica esta sendo pesquisado particularmente nos EUA e Europa, e certamente é uma excelente rota para o Brasil, por integrar dois segmentos do setor energético.

O coque apresenta grandes vantagens em relação aos óleos ultraviscosos. Ressalta-se o melhor aproveitamento do petróleo, por aumentar a oferta de médios, e a possibilidade de ser armazenado e transportado facilmente. Ao contrário, os óleos ultraviscosos apresentam dificuldade no transporte e armazenagem.

Quanto ao diesel, fica claro que comandara o refino de petróleo, gerando excedentes de óleo combustível, e principalmente gasolina. Daí a necessidade de programas de substituição de diesel no setor transporte, por gás e eletricidade.

A seguir, na tabela 9.5 mostra-se, o efeito da entrada do gás, substituindo óleo combustível exclusivamente e GLP, diesel e óleo combustível.

TABELA 9.5
EFEITOS DA IMPORTAÇÃO DE GÁS NATURAL

PRODUÇÃO ADICIONAL OU COMPRA DE 5.000 T/DIA DE GÁS			
SUBSTITUIÇÃO O. COMBUSTÍVEL		31.500	31.500
EFEITOS MARGINAIS DIESEL A MENOS (-) O.COMBUSTÍVEL (+)		2.268 2.268	2.268 2.268
PREÇO DO ÓLEO COMBUSTÍVEL 3.5% ENXOFRE US\$/BBL	(8.4) -1,5 (A)	12,65	12,65
PREÇO DO DIESEL	TABELA 9.3	25,34	25,34
VALOR MARGINAL DO GÁS US\$/T		72,79	72,79
SUBSTITUIÇÃO DE 50% O.COMBUSTÍVEL 25% DIESEL 25 % GLP			
GLP	IMPORTAÇÃO	14.036	14.036
DIESEL	IMPORTAÇÃO	8.114	8.114
ÓLEO COMBUSTÍVEL	EXPORTAÇÃO	16.884	16.884
GLP - PREÇO US\$/BBL	TABELA 8,9	17,47	17,47
VALOR MARGINAL DO GÁS US\$/T		137,945	137,945
ÔNIBUS TRANSFORMADOS P/ GÁS	TABELA 9.17	17.740	17.740
DOMICÍLIO LIGADOS A GÁS 10 ³	5 HAB/DOM	2.000	1.800

(A) Considerou-se o custo de transporte para o mercado dos EUA.

Um ponto a ser considerado é o óleo combustível a ser exportado, pode ser usado nos grande motores do ciclo diesel, como comentado na seção 8.4.5, para a geração de energia elétrica, que por sua vez, alimentaria entre outras coisas o sistema de ônibus elétrico de cidades. Caso fosse desenvolvido um programa deste tipo, que consumisse todo o óleo combustível, deslocado pelo gás, teria a substituição de diesel indicada na tabela 9.6.

TABELA 9.6
EFEITOS DA ELETRIFICAÇÃO DO TRANSPORTE URBANO

volume de óleo exportável	16.884 BPD
volume equivalente de diesel(a)	23.368 "
ônibus urbanos convertidos para trolebus	51.000
redução da demanda de diesel	31.534 "
redução importação petróleo	75.260 "

(a) Estimado com base nas diferentes eficiência do motor diesel, em relação ao motor estacionário.

Na tabela 9.5 mostrou-se a grande quantidade de ônibus que deveriam ser convertidos para o uso de gás. Na tabela 9.6, mostra-se a quantidade de ônibus, que deveriam ceder lugar a trolebus, para permitir uma significativa redução do consumo de diesel, que permitiria a redução da importação de petróleo.

A quantidade de ônibus é grande, é claro que um programa real, antes de implantado procuraria os pontos de maior ganho. Por outro lado os números também mostram a dificuldade em se diminuir o consumo de diesel. Desta forma é necessário o mais rapidamente iniciar programas de substituição de diesel, porque o abastecimento interno deste produto poderá ser uma dificuldade ao crescimento econômico do país.

BIBLIOGRAFIA

BAMWELL, J. et alii. Environmental Aspects of European Refining in the Year 2000 . In Annual Meeting of AIChE, Nov. 17-22, 1991. API 99-1796.

CAPÍTULO X

CONCLUSÃO

10.1 A PROCURA DA VISÃO GERAL

O principal objetivo desta dissertação, foi obter uma visão geral das tendências, do mercado e o suprimento dos combustíveis líquidos, para se projetar cenários, sugerindo-se programas para tornar mais adequado, no futuro, o suprimento dos combustíveis.

Face ao objetivo proposto, procurou-se mostrar os principais aspectos do refino do petróleo, desenvolveu-se modelos de demanda, um modelo simplificado de refino, abordou-se a questão de preços da gasolina, álcool, dos derivados no mercado internacional, e até mesmo as principais tendências da qualidade desses combustíveis, frente as questões ambientais.

Apesar das diversas limitações dos modelos propostos, mostrou-se que as questões relativas a energia podem receber algum tratamento teórico, para serem quantificados, principalmente em termos de custos e consumo.

Assim entende-se que as várias questões ou opções do sistema energético, podem ser quantificadas e produzir um modelo geral, que permita que se façam análises das diferentes rotas ou opções energéticas. É este pensamento global que entendemos deva ser procurado e expresso por um modelo. Sugere-se que, outras dissertações abordem este tema, com o objetivo de se construir um modelo global.

Existem atualmente, uma série de questões polêmicas no setor energético, que podem ser entendidas como conflitos de interesses, falta de informação e acima de tudo, visão parcial e segmentada dos problemas.

Acreditamos que as Universidades e seus pesquisadores, tenham um papel fundamental a ser exercido na questão energética, mostrando para a sociedade o peso real, das diferentes opções energéticas. Entende-se que seja um papel típico das Universidades, que além de dominarem as metodologias adequadas, podem ter a isenção e a pluralidade de pensamentos, necessários, ao trato dessas questões.

Desta forma, seria muito interessante desenvolver um modelo, global para os combustíveis líquidos e produtos correlatos, como o gás natural que permita uma análise adequada, das diferentes opções energéticas, de questões polêmicas e controversas, como é a entrada do gás, como foi e ainda é o PROÁLCOOL. Ou seja, um modelo geral que possibilite a resposta de questões do tipo: quais os efeitos do aumento da produção de álcool; da entrada de gás, do aumento do consumo de diesel e etc...

10.2 MACRO ANÁLISES

Tendo em vista o desenvolvimento de um modelo global, entende-se que há hoje muitos temas de grande importância para serem analisados, para possibilitar e orientar, a tomada de decisão de, cita-se:

(i) A determinação do real efeito do preço do óleo diesel, na economia brasileira, e óleo combustível.

(ii) Estudar e propor uma melhor política de preços para os derivados de petróleo e álcool motor no país.

(iii) Estudar o real efeito do PROÁLCOL no PIB do país, tendo em vista além da participação direta, as indiretas, como a diminuição de arrecadação.

Estas questões, são geralmente discutidas de forma isolada, recebendo via de regra tratamentos tendenciosos. Por exemplo na questão do diesel, hoje recebendo aumentos acima da inflação. No entanto, desconhece-se o efeito do maior preço do diesel no crescimento econômico do país. Semelhante argumentação pode ser feita ao óleo combustível. Isto ficou claro, nos cenários analisados. Sabe-se que se o PIB crescer aumentará o consumo de diesel, porém desconhece-se o efeito de um aumento no preço do diesel sobre o PIB.

Quanto a política de preços, deve ser entendida como uma questão aberta à sociedade, com diversas implicações que devem ser discutidas.

Muitas vezes afirma-se que os combustíveis estão baratos no país, no entanto se considerarmos o preço em relação ao PIB per capita, observa-se que estes preços não estão baixos em relação à outros países.

Vale frisar a importância da visão global. Discutindo-se os preços dos derivados do petróleo, chega-se novamente ao PROÁLCOL. A manutenção deste programa ocasiona um aumento nos preços dos derivados. Caso o consumo brasileiro de gasolina fosse maior, vamos dizer pela não produção de álcool motor, os preços de todos os derivados poderiam ser menores, ou se mantidos, haveria uma arrecadação maior de impostos.

10.3 O PETRÓLEO.

O refino de petróleo deve ser entendido como uma atividade industrial como outra qualquer, tendo lucro ou prejuízos, conforme a variação da conjuntura.

Até mesmo a visão muito difundida de que o refino de petróleo seria lucrativa independente de qualquer fator, não corresponde aos fatos históricos.

Também com base no histórico do uso e refino do petróleo, pode-se afirmar que da mesma forma como o querosene foi o principal e o mais caro derivado de petróleo, passando depois a ser a gasolina, e agora, aos poucos o óleo diesel vai se tornando o principal derivado. O consumo de petróleo à nível mundial será determinado pelo consumo do óleo diesel, que nesta condição será o derivado de maior preço.

No Brasil as questões relativas ao petróleo são pouco discutidas. Provavelmente porque se entende como assuntos e problemas da PETROBRÁS. No entanto, vendo-se a indústria do refino como semelhante as demais atividades, cujos investimentos devem ser remunerados, de forma semelhante ao de outras atividades o que muda de país para país são as políticas econômicas e energéticas. Estas são fixadas pelos representantes da sociedade. No caso do Brasil, cabe a PETROBRÁS, como às outras empresas dos diversos setores, exercer o papel determinado pela sociedade.

Um exemplo é o preço da gasolina, mais influenciado por políticas econômicas do que realmente o preço do petróleo, ou custo do refino. Outro exemplo é a diferença dos preços dos derivados nos diversos países, apesar do preço do petróleo e custo do refino ser semelhante para todos os países. No caso muda bastante de país para país a política de preços e impostos dos derivados.

O setor petróleo apresenta atualmente uma peculiaridade, muitas das mudanças do cenário energético terão implicações para o setor. Para exemplificar, cita-se geração de energia elétrica por via térmica, que muito provavelmente, será obtida por derivados: o uso de produtos oxigenados, como o álcool, que influencia as rotas de refino, o gás terá também influências no refino de petróleo.

Um aspecto bastante importante é o preço do petróleo que não deve se alterar nos próximos anos.

10.4 O MEIO AMBIENTE.

Há atualmente uma grande preocupação com o desconforto ambiental, provocado pelos poluentes, questão esta que sem dúvida dominará as discussões sobre o uso de energia e aumentará o custo dos combustíveis.

Face a constatação, que todo veículo movido por motores de combustão interna, alimentados por qualquer combustível, emite uma série de poluentes, está surgindo uma tendência de se considerar como opção futura o uso de energia elétrica para o transporte, e estudar as formas de expansão da geração de energia elétrica, em termos de emissão de poluentes e consumo de energia primária. É sem dúvida um enfoque interessante que pode ser aplicado no planejamento de médio e longo prazo.

Uma questão que deve ser analisada, é a existência de incentivos fiscais aos carros à álcool, apesar das legislações ambientais exigirem o mesmo nível de emissões, para os carros à álcool como para os veículos à gasolina.

Questiona-se esta política, por não ter justificativa técnica. Mostrou-se, nesta dissertação, o montante de recursos consumidos com esse incentivo, sem um objetivo claramente definido.

Caso o objetivo seja melhorar a qualidade do ar das cidades, sugere-se então criar uma escala de incentivo fiscais de acordo com o nível de emissões. Ou seja, é uma forma de gastando menos recursos, conseguir mais benefícios.

10.5 OS MODELOS DE DEMANDA.

Até há alguns anos, o Ministério dos Transportes, mantinha um grupo responsável pela consolidação dos diversos dados estatísticos estaduais, sobre as frotas existentes. O grupo foi extinto e não coube a nenhuma instituição assumir a função.

Hoje, existem poucos dados estatísticos sobre as frotas de veículos à gasolina e à álcool, desconhece-se até mesmo o número " oficial de veículos em circulação". Não há informações sobre a idade dos veículos, a real situação das frotas.

Desta forma, modelos de demanda, tendem a se basear em escassos dados reais. Entende-se, que algum órgão público deve assumir as funções do antigo GEIPOT. Havendo disponibilidade de dados incentivará a realização de modelos de demanda, base para a discussão das opções e políticas energéticas.

Por outro lado, ressalta-se a carência de estudos sobre as frotas reais, hábitos dos motoristas e etc... O melhor conhecimento destes hábitos, pode subsidiar a realização de estudos sobre economia de energia nos transportes, e apoio a programas de melhoria da qualidade do ar.

10.6 A GASOLINA E O ÁLCOOL

Ao longo desta dissertação acreditava-se que haveria um ponto de equilíbrio, ou uma situação ótima, contemporizando a produção de álcool e gasolina. No entanto há claras tendências de redução, ou pelo menos de estagnação do mercado mundial de gasolina, que desta forma terá seu preço contido. O preço do álcool continua muito superior ao preço de exportação da gasolina, impedindo uma política desejável de captação de recursos via mercado interno de combustíveis do ciclo otto.

Estima-se que entre 1980 a 1990, o governo deixou de arrecadar cerca de 10 bilhões de dólares, face a diferença de preços entre o álcool e a gasolina. Não há perspectivas, de uma mudança desse panorama neste fim de século.

Convém ressaltar que: como o preço pago a PETROBRÁS pela gasolina no mercado interno, têm sido semelhante ao preço internacional, funcionando os mecanismos de compensação da conta álcool e conta petróleo, o prejuízo com o PROÁLCOOL é do governo brasileiro. A PETROBRÁS têm prejuízos porque acumulam-se débitos do governo em relação a conta petróleo e conta álcool.

Assim, tendo em vista os preços do álcool e gasolina e as perspectivas futuras, não há um ponto ótimo entre o mercado de gasolina e álcool. Pode-se apenas sugerir medidas para minimizar o problema. A primeira medida deve ser rever a política de preços ao produtor do álcool. Hoje paga-se pelo maior custo de produção, isto é existem diversos produtores com diferentes custos. O preço do álcool renunera a todos. Deve-se estabelecer uma política de preços de médio prazo, que remunere pela média, incentivando desta forma a produtividade. Sugere-se também, o estabelecimento de cotas, com uma determinada flexibilidade previamente combinada.

Uma questão importante é o controle de um mínimo e máximo anual de veículos novos vendidos de cada tipo de combustível, este é a variável de maior peso na determinação futura da demanda dos dois combustíveis.

Sugere-se que nos próximos anos percentuais de 30% de veículos à álcool e 70% à gasolina. Caso o percentual de carros à álcool fique superior ao sugerido, corre-se o risco de outra crise de abastecimento de álcool, e problemas com os carros à gasolina, porque possivelmente a solução adotada para uma falta de álcool, seria diminuir novamente o percentual de álcool na gasolina.

A proposta da nova gasolina, com até 10% de álcool, deve ser entendido como uma modernização do combustível que passa a ter qualidade semelhantes ao dos outros países, e abre a possibilidade de usar o maior ou menor teor de álcool como uma flexibilidade, para atenuar problemas ambientais localizados, e até mesmo absorver variações da produção do álcool.

No momento em que se procura criar o mercado do cone sul, e mesmo a integração com outros mercados, é desejável que a gasolina brasileira seja semelhante a dos outros países, facilitando a comercialização de carros. Atualmente os carros à gasolina brasileiros, são regulados de maneira diferente, face ao a diferença de combustível.

A nova gasolina é a única proposta de curto que flexibiliza o abastecimento dos veículos do ciclo otto.

10.7 O DIESEL

O diesel pode ser considerado como um dos pontos críticos do abastecimento energético brasileiro. Um programa que pode atenuar a demanda e melhorar as condições ambientais das cidades, é o investimento de recursos na eletrificação dos transportes, que além das muitas vantagens, é o único tipo de energia que ao ser usada praticamente não provoca impactos ao meio ambiente. É portanto uma solução de longa duração, quer do ponto de vista da tecnologia, quer no ponto de vista da vida útil do empreendimento.

O gás é também uma boa solução para melhorar o perfil de demanda brasileiro e melhorar as condições ambientais das cidades.

Porém tanto a eletrificação quanto o uso do gás no setor transporte têm em comum a necessidade de incentivos. Ambos necessitam de grandes investimentos iniciais, porém principalmente o gás, é mais barato que o óleo diesel. É uma situação bem diferente do PROÁLCOOL, que também precisou de incentivos, porém não conseguiu obter preço semelhante ao da gasolina.

Outro aspecto importante do diesel é a dificuldade em diminuir a demanda. No caso são necessários diversos programas, como o uso do gás, da eletrificação urbana, e assim mesmo substituí- se pequena parcela. Sugere-se então outras rotas, como uso do gás em frotas de caminhões urbanos, ônibus interurbano ligando cidades que dispões de gás.

Mesmo iniciando-se um forte programa de substituição de diesel, a quantidade substituída pode ser menor que a demanda adicional, provocada por um aumento de PIB, de 2000 para 2200 dólares por habitante.

Ou seja, é necessário investir rapidamente e maciçamente em programas de diminuição do consumo de diesel. Certamente em futuro próximo haverá pressões para melhorar a qualidade do diesel brasileiro, exigindo grandes investimentos e eventualmente provocara a diminuição da produção de diesel.

A rota melhor é procurar equilibrar a oferta de diesel com a demanda, caso contrário, será necessário aumentar a quantidade de petróleo refinada no país, gerando excedentes de difícil exportação como o óleo combustível e a gasolina.

A contenção da demanda de diesel por uma política de aumento de preços reais, não é recomendada pelos seguintes aspectos. Nesta dissertação e em outros estudos, o consumo de diesel, não se correlacionou ao preço. É claro que um aumento significativo do preço do diesel, deve reduzir o consumo de diesel, porém desconhece-se a consequência no PIB. Provavelmente o custo do transporte aumentaria muito, inviabilizando algumas atividades, ocasionando a queda do PIB.

10.8 A GERAÇÃO DE TERMOELETRICIDADE.

Há duas propostas novas para o Brasil, a primeira é o uso do coque de petróleo, sem dúvida a solução mais complementar para o setor elétrico e o setor petróleo.

Trata-se de uma tecnologia nova, promissora principalmente em termos de emissões de óxidos de enxofre e nitrogênio. Falta verificar se as tecnologias usadas em outros países, se adaptam adequadamente ao Brasil.

A outra proposta refere-se ao uso de grandes motores estacionários, que utilizam de óleo combustível, para gerar energia elétrica. Os principais pontos que tornam esta alternativa interessante, são:

(1) poder utilizar óleo combustível com até 2,5 % de enxofre, sem necessidade de tratamento de gases. O custo deste produto é bastante baixo em relação a outros.

(II) Consumir óleo combustível, que há fortes tendências de sobrar no mercado interno.

(III) Seria direcionado ao atendimento, de uma comunidade específica.

Os motores estacionários seriam usados em centrais de pequeno porte, na faixa de 20 a 40 MW. Atualmente a implantação de qualquer instalação industrial, por impactar o meio ambiente, exige uma negociação com a comunidade local. Essas pequenas centrais propiciariam uma negociação com uma comunidade específica, de uma cidade ou região, muito mais fácil, que por exemplo a negociação da implantação de uma grande termoeletrica.

A negociação poderia se realizar enfocando problemas específicos da região, como a falta de energia elétrica, eventualmente a pequena confiabilidade do sistema elétrico local, ou qualquer outra peculiaridade. Na negociação poderia-se oferecer a eletrificação de parte do sistema urbano da cidade ou região, como contribuição as condições ambientais da cidade.

10.9 USO DO GÁS NATURAL

O gás natural é um combustível nobre, não devendo ser entendido como apenas um substituto do óleo combustível.

A inserção do gás na matriz energética nacional, deve contemplar principalmente, as atuais deficiências, que podem ser resumidas em: excesso de combustível para o ciclo otto, falta de óleo diesel e GLP, e tendência a excesso de óleo combustível.

Por outro lado a viabilidade econômica da implantação de sistema distribuidor de gás depende de grandes consumidores, isto é, o segmento industrial, usando o gás para substituir o óleo combustível.

Sugere-se que todo o projeto de distribuição de gás, contemple uma parcela de substituição de óleo combustível, para ter viabilidade econômica, uma parcela de substituição de GLP no setor residencial, e uma parte sendo usada na substituição de diesel no setor transporte.