

HD9581.P67
L68
1994



UNIVERSIDADE TÉCNICA DE LISBOA
INSTITUTO SUPERIOR DE ECONOMIA E GESTÃO

A Penetração do Gás Natural nos Transportes Rodoviários

Isabel Maria Loução

Dissertação de Mestrado em Economia e Política da Energia e Ambiente

Lisboa
1994



AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Prof. Doutor Álvaro Martins (Instituto Superior de Economia e Gestão) pela orientação e atenção dispensada durante a realização deste trabalho.

Agradeço, ainda, a colaboração prestada pela Eng^a Marlene Marques, do CEEETA e do Eng^o Jorge Nabais, da CARRIS.

Finalmente, um bem haja a todos os que, com a sua ajuda, amizade e compreensão, me permitiram realizar este trabalho.

ÍNDICE

1	Introdução	1
2.	Economia do gás natural	3
	2.1 Introdução.....	3
	2.2 Propriedades do gás natural.....	3
	2.3 Reservas de gás natural.....	8
	2.4 Cadeia de energia do combustível gás natural.....	13
	2.6 Processamento do gás natural.....	15
	2.7 Armazenamento do gás natural.....	17
	2.8 Transporte e distribuição de gás natural.....	17
	2.9 Vantagens da utilização do gás natural.....	19
	2.10 Mercado do gás natural.....	19
3.	Economia dos transportes	22
	3.1 Introdução.....	22
	3.2 Transportes de mercadorias.....	22
	3.3 Transporte de passageiros.....	23
	3.4 Transportes urbanos.....	24
	3.5 A Política Europeia dos Transportes.....	29
	3.6 Caracterização do mercado mundial de veículos a gás natural.....	31
	3.7 Estudos de avaliação económica de NGV.....	36
	3.8. Algumas experiências internacionais de utilização de NGV.....	44
4.	Combustíveis alternativos	53
	4.1 GNC (Gás Natural Comprimido).....	53
	4.2. GNL (Gás Natural Liquefeito).....	63
	4.3 Metanol.....	64
	4.4 Etanol.....	67
	4.5. GPL (Gases de Petróleo Liquefeitos).....	68
	4.6. Hidrogénio.....	71
	4.7 Biogás.....	73
	4.8 Óleo Vegetal.....	77
	4.9 Gasolinas e gasóleos sintéticos produzidos a partir do gás natural.....	77
	4.10 Comparação de combustíveis alternativos.....	79
5.	Impacte ambiental no sector dos transportes	85
	5.1 Introdução.....	85
	5.2 Medidas de luta contra a poluição causada pelos transportes rodoviários.....	86
	5.3 Impacte ambiental de uma transição dos combustíveis actuais para o gás natural.....	88
6.	A situação dos transportes rodoviários em Portugal	102
	6.1 Introdução.....	102
	6.2 Consumo de energia dos transportes rodoviários.....	102
	6.3 Medidas de incentivo à utilização racional de energia.....	107
	6.4 Insuficiência de informação.....	109
7.	Avaliação económica aplicada a Portugal	110
	7.1 Introdução.....	110
	7.2 Metodologia utilizada.....	111
8.	Análise dos Resultados	116
	8.1 Introdução.....	116
	8.2 Veículo Ligeiro de Passageiros.....	116
	8.3 Veículo Pesado de Passageiros.....	119
9.	Conclusões	122

SIGLAS

AFA's - Alternative Fuel Vehicles;
EGR - Exhaust Gas Recycling;
FFV's - Flexible Fuel Vehicles;
GNC - Gás Natural Comprimido;
GNL - Gás Natural Liquefeito;
GPL - Gases de Petróleo Liquefeitos;
LH - hidrogénio Líquido;
LEV - Low Emission Vehicle;
MCH - Methyl Cyclo-hexan;
NGV - Natural Gas Vehicle;
NMOC - Non-methane Organic Gas;
NMHC - Non-methane hidrocarbon;
OEM - Original Equipment Manufacturer;
PCI - Poder Calorífico Inferior;
PCS - Poder Calorífico Superior;
PKM - Passageiro-kilómetro;
tep - tonelada equivalente de petróleo;
TLEV - Transitional Low Emission Vehicle;
ULEV - Ultra Low Emission Vehicle;
VHC's - Very Heavy Oil;
Vq - Veículo-quilómetro;
ZEV - Zero Emission Vehicle.

1 Introdução

Nos últimos anos o número de veículos em circulação tem aumentado. Mas, se por um lado o aumento de veículos ajuda a melhorar o bem estar e encurta as distâncias, estimulando as trocas comerciais e culturais, por outro lado ele gera um grande consumo de energia na forma de combustíveis, particularmente gasolina e gasóleo.

Em larga medida, este sector é também responsável pelo problema da poluição atmosférica urbana. O contínuo aumento global do consumo de energia, especialmente de combustíveis, tem avivado a preocupação pública e governamental sobre a degradação ambiental. Laboratórios em todo o mundo estão envolvidos na investigação de soluções para inverter o avanço da poluição devida, entre outras razões, ao tráfego público e privado.

Num esforço para chegar a alternativas para os combustíveis derivados do petróleo, outros combustíveis estão a ser estudados em muitos países: gás natural, metanol, etanol, biogás, gasolinas e gasóleos sintéticos, hidrogénio, etc. Contudo, em muitos casos existem dificuldades económicas, técnicas e ambientais em usar esses combustíveis nos transportes.

O metano constitui um dos combustíveis alternativos mais atractivo para o sector dos transportes devido à sua grande disponibilidade no mundo, à sua parcial capacidade de renovação (biogás), às boas "performances" de motor e a vantagens em termos ambientais. Apesar de ter sido usado durante muitos anos em alguns países, está-se agora a reconsiderar de novo este combustível. A difusão dos veículos a gás natural tem aumentado, em certos países, devido a razões estratégicas, económicas e ecológicas.

Para além das grandes reservas provadas e recursos de gás natural potencialmente enormes, o longo prazo mantém a promessa de produção de gás a partir de combustíveis fósseis tais como carvão, areias asfálticas, xistos betuminosos e a partir de resíduos orgânicos, podendo dizer-se que o NGV¹ (veículo a gás natural) usa o combustível do futuro.

Os factores económicos permanecem dominantes em muitos países mas os ganhos nesta área não se limitam, como se referiu, aos económicos, existindo potencial para grandes melhorias nas emissões de poluentes. De facto, não há dúvidas quanto ao valor dos NGV na melhoria do ambiente local, particularmente quando usado em frotas de veículos de transporte público. Uma actividade intensa cerca o uso do gás natural como combustível, envolvendo sectores industriais, tais como as indústrias de gás e automóveis.

¹ NGV-Natural Gas Vehicle (IEA, 1992).

Décadas de experiência no uso de gás natural como combustível têm trazido a tecnologia relacionada para um nível de grande confiança em termos de segurança fornecendo, ao mesmo tempo, um nível de resultados satisfatório.

Os níveis de segurança têm mostrado serem suficientemente bons para o gás natural ser sugerido por muitos especialistas como um combustível potencial até para barcos e aviões.

O estudo trata dos transportes rodoviários de passageiros, em especial, por se tratar de uma das principais componentes do sector dos transportes.

O objectivo deste trabalho é o de estudar as alternativas ao gasóleo e gasolina como combustível de transporte rodoviário, em Portugal, com especial destaque para o combustível gás natural, procurando estimar as suas consequências económicas e ambientais.

No capítulo 2 é feita uma apresentação do gás natural em termos económicos, evidenciando os aspectos ligados à oferta, procura e mercado. São referidas as características principais do combustível e o percurso desde a sua extracção até ao mercado.

No capítulo 3, são tratadas as características da economia dos transportes, salientando os principais problemas do transporte urbano e as possíveis medidas para os solucionar. É efectuada também uma caracterização do mercado dos veículos a gás natural e de alguns estudos realizados sobre a viabilidade económica do uso de gás natural como combustível. Por fim é feita uma descrição de algumas experiências internacionais da utilização de gás natural como combustível.

No capítulo 4 é feita uma identificação dos vários combustíveis alternativos à gasolina e ao gasóleo, sublinhando os obstáculos ao seu uso, as suas vantagens e as suas desvantagens.

No capítulo 5 é apresentada a situação dos transportes rodoviários em Portugal, referindo os seus principais problemas e as soluções propostas para os solucionar.

No capítulo 6 é abordado o impacte ambiental provocado pelos transportes rodoviários, em geral, e o impacte decorrente da transição para o gás natural como combustível, em particular.

No capítulo 7 dá-se início a um estudo de viabilidade económica da utilização de gás natural comprimido, em Portugal, num veículo ligeiro de passageiros e num veículo pesado de passageiros, apresentando a respectiva metodologia e pressupostos.

No capítulo 8 são apresentados e discutidos os resultados obtidos a partir do estudo apresentado no capítulo anterior.

Finalmente, no capítulo 9 são apresentadas as conclusões gerais de todo o trabalho.

2. ECONOMIA DO GÁS NATURAL

2.1 Introdução

O gás natural é uma fonte de energia que disfruta de um forte crescimento, satisfazendo uma significativa parte das necessidades mundiais de energia e com bom potencial para uma maior expansão no futuro. Os principais factores que têm contribuído para este sucesso podem ser resumidos de acordo com as seguintes ideias: disponibilidade, versatilidade de uso e compatibilidade ambiental (BRANDA, 1992).

2.2 Propriedades do gás natural

O gás natural é encontrado no subsolo onde foi formado há milhões de anos como matéria orgânica. A grande pressão da rocha combinada com o calor da terra, converteu a matéria em combustíveis fósseis, incluindo carvão, petróleo e gás natural (EQUITABLE GAS, 1994).

Este último é uma mistura de vários gases, sendo o seu principal constituinte o metano (CH_4), que representa tipicamente entre 85 % e 95 % do volume total. Os outros componentes incluem hidrocarbonetos mais pesados tais como etano (C_2H_6), propano (C_3H_8) e butano (C_4H_{10}) e alguns gases inertes, tais como o azoto (N_2) e o dióxido de carbono (CO_2). A composição exacta varia largamente numa escala internacional, podendo variar até de poço para poço no mesmo campo (IEA, 1992).

QUADRO 2.1 Variações na composição e Características do Gás Natural - Canadá e fontes Europeias seleccionadas

COMPONENTE VOL. %	CANADÁ	DINAMARCA (MAR)	NORUEGA	ALEMANHA	EX-URSS
Metano (CH_4)	95.4	91.1	91.6	88.7	98.9
Etano (C_2H_6)	0.2	4.7	3.6	5.3	0.2
Propano (C_3H_8)	0.2		0.4	1.6	0.0
Butano (C_4H_{10}) + HC's mais pesados	-	0.5	2.4	1.4	0.0
Dióxido de Carbono (CO_2)	0.4	0.5	2.4	0.6	0.0
Azoto (N_2)	1.9	0.6	0.6	1.1	0.9
Outros	1.9	2.6	-	1.3	-
Poder calorífico superior (PCS) MJ/m ³	-	43	41	42	37
Poder calorífico inferior (PCI) MJ/m ³	38	39	37	37	44
Densidade	-	0.62	0.62	0.63	0.56

Fonte: IEA, 1992

Os fornecedores de gás dos Estados Unidos da América definiram um sistema de classificação do gás natural de acordo com o critério que se apresenta no quadro seguinte.

**QUADRO 2.2 - Classificação do Gás Natural
(Estados Unidos da América)**

Grupo	Azoto %	Gravidade específica	Metano %	GJ/m ³
I- Inerte elevado	6.3-16.2	0.66-0.708	71.9-83.2	32-35
II - Metano elevado	0.1-7.39	0.59-0.614	87.6-95.7	34-36
III - Btu elevado	1.2-7.5	0.62-0.719	85.0-90.1	36-38

Fonte: IEA, 1992.

As propriedades do gás com interesse do ponto de vista do combustível de veículo incluem:

- Conteúdo energético ou Poder Calorífico;
- Teor de humidade;
- Teor de enxofre;
- Gravidade específica ²
- Rácio de mistura estequiométrica³.

Quaisquer variações nestas propriedades serão originadas pelo equilíbrio dos vários gases individuais que ocorrem na amostra de gás natural. É desejável que os hidrocarbonetos mais pesados sejam mínimos num gás combustível de veículo. O seu conteúdo energético por unidade de volume é maior que o metano, o que à primeira vista poderia parecer uma vantagem, mas na prática fazem baixar o rácio de octanas do gás combustível, conduzindo à detonação do motor. Também se condensam a temperaturas mais elevadas, o que pode conduzir a bloqueamentos nos equipamentos de fornecimento de gás e de medição, particularmente válvulas de redução de pressão.

A Associação Internacional para Veículos a Gás Natural (IANGV) sugeriu um limite de 8 % para o conteúdo total de fracções de etano, butano e propano (IEA,1992).

Existem importantes problemas em definir uma composição padrão do gás natural e em assumir a sua disponibilidade em todo o mundo. O quadro seguinte representa a composição de gás natural recomendada pela "Natural Gas Vehicles Coalition" (Estados Unidos da América), para o teste certificado de emissão.

² A gravidade específica expressa a densidade do gás em relação ao ar (IANGV.1990).

³ É a relação ar/gás ideal para uma combustão completa.

QUADRO 2.3 - Composição de gás natural recomendada pela "NGV Coalition" (Estados Unidos da América) para o teste certificado de emissão

Metano	88 % + 0.5 % (*)
Etano	8 % + 0.3 %
C3 + HCs mais complexos	4 % + 0.2 %
C5 + HCs mais complexos	0.5 % max.
Total de HC não saturado	0.5 % max.
Hidrogénio	0.1 % max.
Monóxido de Carbono	0.1 % max.

(*) Expresso como percentagem do total de carbono orgânico presente.

Fonte: BASSI, 1993.

Os níveis de água e enxofre influenciam fortemente a corrosão dos cilindros de armazenamento, válvulas e misturadores. A IANGV considera que um dos obstáculos à obtenção de padronização internacional dos cilindros de armazenamento de gás natural é a falta de uma correspondente especificação de um gás padrão.

É muito difícil ou inviável obter disponibilidade de uma composição padrão de gás natural. Talvez a solução possa ser encontrada mais facilmente na sofisticada gestão electrónica do motor, que pode ter em consideração a diferente composição do gás injectado dentro do motor e consequentemente ajustar os parâmetros de regulação, devendo o gás natural ser considerado um combustível flexível. No entanto, poderão ser feitos importantes esforços de I&D neste campo pelos fabricantes de motores.

O gás natural tem uma elevada temperatura de ignição, mais elevada que a gasolina, o que pode ser considerado um aspecto positivo como característica de resistência à detonação para a eficiência total do motor, mas pode também ser considerado como inconveniente, porque é muito difícil inflamar a mistura ar/metano (BASSI,1993).

As propriedades da gasolina e do gasóleo permanecem geralmente dentro de uma estreita variação, mas podem existir variações bastante grandes na composição e conteúdo energético do gás natural e biogás.

QUADRO 2.4 - Conteúdo energético dos combustíveis

Combustível	Poder Calorífico Inferior (PCI)		Poder Calorífico Superior (PCS)		Densidade
	MJ/L	MJ/Kg	MJ/L	MJ/Kg	
Gasolina	33	45	44	60	0.73
Gasóleo	36	43	43	51	0.84
	MJ/m ³	MJ/Kg	MJ/m ³	MJ/Kg	Kg/m ³
Gás natural	36	44	40	47	0.75

Fonte: IEA, 1992.

Está estabelecido em muitos contextos usar o megajoule (MJ) como a unidade de conteúdo energético para combustíveis. Tem-se tornado prático usar o kilowatt-hora (kwh). A taxa de conversão entre estas duas unidades é 3.6 MJ por kwh (ECCOTRAFIC AB, 1992).

Com base nos poderes caloríficos inferiores, 1 Kg de gás natural é equivalente a cerca de 1.33 L de gasolina ou 1.22 L de gasóleo e 1 m³ de gás natural é equivalente a cerca de 1.10 L de gasolina ou 1.00 L de gasóleo.

No quadro seguinte são apresentados o poder calorífico inferior (PCI), o volume de ar necessário para combustão estequiométrica, o conteúdo energético da mistura resultante para gases constituintes individuais e uma mistura típica de gás natural.

QUADRO 2.5 - Propriedades de Combustão dos Gases

Gás Combustível	Poder calorífico inferior MJ/m ³	Necessidade de ar m ³ ar/ m ³ gás	Conteúdo Energia (esteq.) MJ/m ³
Metano	35.88	9.671	3.362
Etano	64.35	17.056	3.564
Propano	93.21	24.625	3.634
Gás Natural	31.68	8.527	3.325
Biogás	21.53	5.803	3.165
Hidrogénio	10.78	2.410	3.161
Monóxido de Carbono	12.63	2.413	3.701

Fonte: IEA, 1992

Em geral, os motores de combustão interna têm uma tolerância surpreendentemente elevada a variações nos componentes do gás natural. Se for considerada uma mistura estequiométrica de ar e gás, verifica-se que o conteúdo de energia específica para uma gama muito variada de gases altera-se apenas em pequenas quantidades (IANGV, 1990).

Enquanto que os valores de PCI para os principais constituintes do gás natural diferem largamente, os conteúdos energéticos das suas respectivas misturas estequiométricas assumem valores muito próximos. Isto significa que a composição do gás combustível pode variar bastante, mas o conteúdo energético da mistura estequiométrica varia pouco. O biogás contém 40 % de CO₂ e o conteúdo energético estequiométrico da mistura biogás/ar está apenas 5.7 % abaixo de uma mistura típica gás natural/ar (IEA, 1992).

Para uma dada velocidade fixa do motor e eficiência volumétrica, a potência actual produzida dependerá de diversas propriedades físicas, da combustão e dos respectivos produtos de combustão (IANGV, 1990).

A potência do motor depende do volume da mistura gás/ar que pode ser consumida por unidade de tempo. Deste modo, para fins de "design" de motor as propriedades da mistura gás/ar são mais importantes que as propriedades do gás, sendo a força do motor menos influenciada pela composição do gás combustível usado do que se poderia supor. No entanto, poder-se-á esperar uma alteração na "performance", se o sistema de controle de combustível do motor não incorporar alguma forma de compensar as variações na composição do gás.

Várias companhias de gás natural mantêm o conteúdo energético do seu gás dentro de limites específicos de acordo com o conceito de índice de Wobbe, para

assegurar que não hajam variações incontroladas no funcionamento de equipamento a partir da sua oferta de gás.

O índice de Wobbe é um indicador da energia química disponível na mistura ar/gás para um processo de combustão, baseando-se em três quantidades fundamentais:

- Poder calorífico inferior do gás combustível (PCIg);
- Densidade do gás combustível (Dg);
- Densidade do ar (Da).

O índice de Wobbe é definido por:

$$W_o = (PCIg) \times (Da/Dg)^{0.5},$$

à pressão de 101.325 KPa e temperatura de 275.15 ° K.

QUADRO 2.6 - Índice de Wobbe para constituintes do Gás Natural

Gás Combustível	Índice de Wobbe baseado no Poder Calorífico Inferior MJ/m ³
Metano	48.17
Etano	62.86
Propano	74.75
Gás Natural	39.47
Biogás	22.19
Hidrogénio	40.89
Monóxido de Carbono	12.84

Fonte: IEA, 1992.

A resistência à detonação de combustíveis gasosos é classificada em termos de número de metano (MN). Ao metano, que é altamente resistente à detonação é dado um rácio de 100, sendo atribuído ao hidrogénio um MN de zero.

O MN de qualquer combustível gasoso pode ser determinado abastecendo com ele um motor sob condições controladas e aumentando o rácio de compressão até que a detonação ocorra (IANGV,1990).

QUADRO 2.7 - Número de Metano de alguns gases combustíveis

Gás Combustível	MN
Metano	100
Hidrogénio	0
Etano	44
Propano	32
Butano	8
Monóxido de Carbono	62
Biogás (40 % de CO ₂)	140
GPL (40 % de Butano)	25
Gás Natural (Groningen)	89

Fonte: IANGV,1990.

2.3 Reservas de gás natural

Desconhece-se a quantidade exacta de gás natural existente na terra. Os geólogos e cientistas desenvolvem projecções baseadas no seu conhecimento das formações geológicas que contêm este combustível fóssil. Alguns cientistas consideram que a quantidade de gás natural que ainda não foi descoberta pode ser dez vezes maior do que a que já foi encontrada (EQUITABLE GAS, 1994).

As reservas mundiais de gás natural são vastas e bastante suficientes para satisfazer qualquer crescimento previsível no uso de veículos durante os próximos 25 anos (IEA, 1992).

As estimativas correntes das reservas provadas mundiais, em cerca de 132000 biliões de metros cúbicos, são similares em termos energéticos às do petróleo, que são de cerca de 135000 toneladas (BRANDA, 1992).

As reservas mundiais provadas totais não são muito diferentes, mas o ritmo de consumo do petróleo é correntemente cerca de 80 % superior ao do gás.

QUADRO 2.8 - Reservas Globais de Energia

	Petróleo	Gás Natural
Reservas provadas mundiais	137,251	107,471
Consumo anual corrente (Mtep*)	3,097	1,707
(reservas provadas)	44 anos	60 anos

* Mtep= milhões de toneladas equivalentes de petróleo

Fonte: HEATON, D.; VAN DER WEITE, J., 1993.

A dispersão geopolítica das reservas de gás é mais equilibrada que para as de petróleo. De facto, um aspecto fortemente influente é o facto da distribuição mundial das reservas de gás natural ser mais diversa, o que conduz a mercados mais estáveis, factor de importância estratégica para os principais países utilizadores de energia.

As previsões mostram que teremos de deixar o uso de petróleo como fonte de energia primária num período de cerca de 30 a 40 anos e o gás natural tornar-se-á dominante por algum tempo (HEATON, D.; VAN DER WEITE, J., 1993).

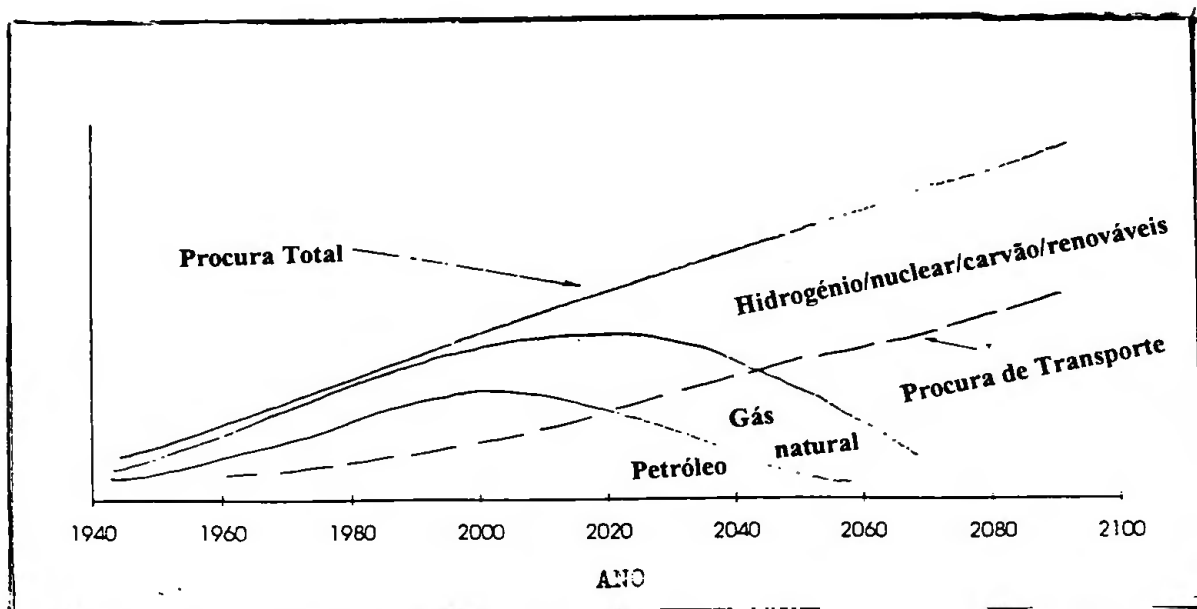


Figura 2.1. Recursos mundiais de energia previstos e procura.
 Fonte: HEATON, D.; VAN DER WEITE, J. 1993.

No presente, são consumidos um total de cerca de 2000 bilhões de metros cúbicos/ano de gás natural. A este ritmo de crescimento existe uma oferta suficiente para 60/65 anos: exactamente o tempo que os cientistas estimam ser necessário para desenvolver completamente a tecnologia da fusão nuclear.

Porém, com os novos sistemas de prospecção a maiores profundidades, no mar e em novas áreas de exploração, mais reservas serão provavelmente descobertas num futuro próximo. O período de disponibilidade deste precioso combustível será, assim, maior que o presentemente estimado.

O gás natural é encontrado em muitas das regiões do mundo que contêm depósitos de petróleo bruto, xistos betuminosos, areias asfálticas ou carvão. A oferta mundial de gás natural pode ser dividida em três categorias, de acordo com o tipo de depósito em que é encontrado.

1) O **gás não associado** é aquele que é encontrado em depósitos que não contêm petróleo bruto, podendo ser deixado no solo até que seja necessário para a produção de combustível. É também a matéria-prima preferida para transferência por gasoduto.

2) O **gás associado** é aquele que é encontrado na mesma formação ou depósito que o petróleo bruto, podendo estar separado como uma "capa" sobre o petróleo ou estar dissolvido nele.

3) O gás condensado é uma forma muito leve de petróleo bruto, contendo apenas uma fracção da gama de hidrocarbonetos normalmente encontrados no petróleo bruto (IEA,1992).

O tipo de recurso terá um efeito marcado sobre as propriedades do gás à saída do poço. Assim, o gás associado contém quantidades significativas de hidrocarbonetos mais pesados (C₂ até C₄) juntamente com líquidos mais leves (C₅ e para cima) designados por líquidos de gás natural ou gasolina natural.

Em termos de planeamento, os recursos dos campos de gás não associado apresentam menos problemas que os recursos dos campos de gás associado, que são produzidos quase como um subproduto do petróleo bruto. Os depósitos condensados são intermédios aos outros dois tanto no que diz respeito a problemas de planeamento como em relação à composição (IANGV, 1990).

A proximidade de áreas tais como a Rússia, norte de África e o Médio Oriente, que juntas possuem cerca de 80 % das reservas mundiais de gás natural e o elevado nível de tecnologia de transporte, têm sido factores determinantes para a decisão de desenvolver indústrias de gás em países europeus.

Uma grande proporção das reservas globais totais de gás localiza-se em regiões remotas ou inacessíveis. Porém, o gás natural dessas regiões poderá ser transportado para o mercado através de gasodutos ou sistemas de transporte de gás natural liquefeito se a procura o justificar.

Algumas reservas mundiais provadas de gás natural estão localizadas em áreas onde não existem mercados para elas como combustível, devido às inadequadas infra-estruturas de transporte ou preços não económicos. Por consequência, tende a ser limitado o incentivo para explorar mais reservas.

O gás natural conta com cerca de 44 % de energia das reservas provadas de hidrocarbonetos mundiais, mas conta apenas com 35 % do consumo total de hidrocarbonetos. Os dois factores chave para explicar esta divergência são os muito elevados custos para transportar o gás natural quando comparado com o petróleo bruto e o facto de que muitas reservas de gás foram descobertas como um subproduto da exploração do petróleo bruto, mais do que procura pelo gás natural. Apenas 13 % da produção mundial de gás natural deixa o seu país de origem, contando este combustível apenas com 14 % do comércio internacional em hidrocarbonetos.

A maior parte do crescimento em reservas está a ocorrer em localizações tais como Sibéria e Médio Oriente, que estão isolados dos principais mercados de gás e podem ser inacessíveis às potenciais rotas de camiões de GNL⁴ ou estar longe das infra-estruturas de gasoduto existentes.

Os excedentes exportáveis aumentam quando são feitas novas descobertas de gás ou quando o preço da tecnologia se altera, tornando a produção viável.

⁴ GNL - Gás Natural Liquefeito.

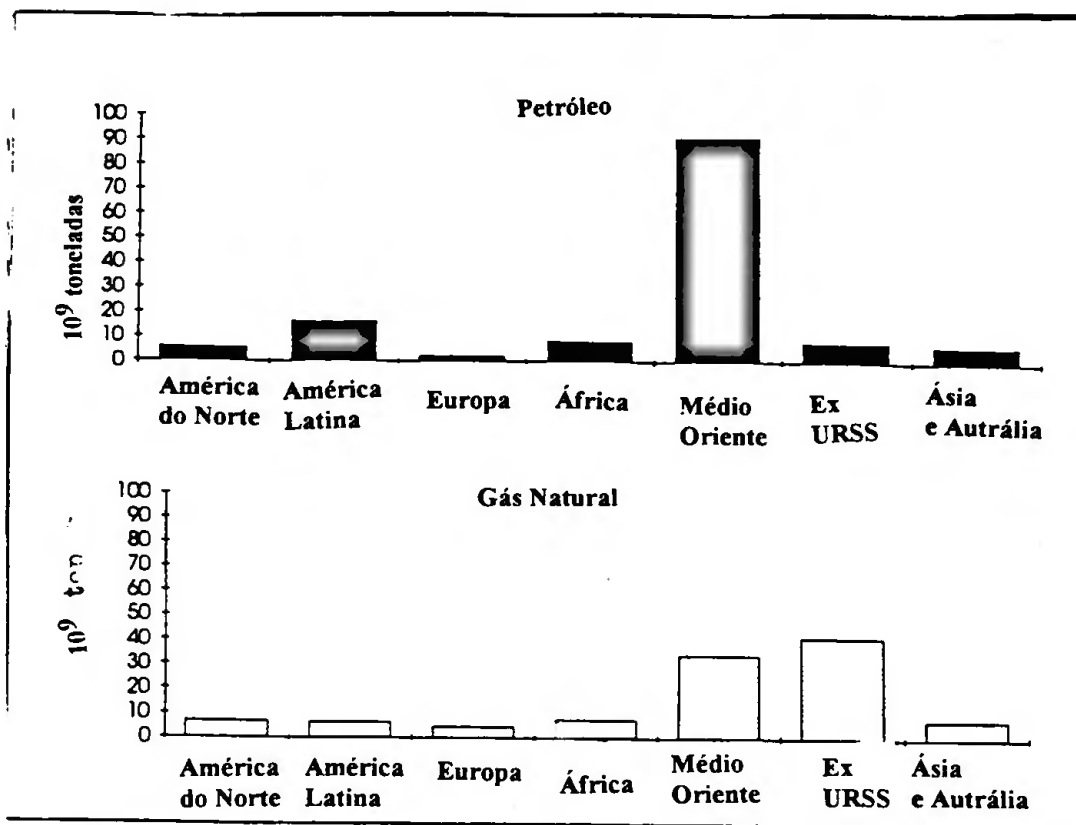


Figura 2.2. Reservas provadas mundiais de petróleo e gás natural.
 Fonte: HEATON, D.; VAN DER WEITE, J. 1993.

2.3.1 Reservas da Europa e ex-URSS

Esta região contém cerca de 43 % das reservas provadas mundiais de gás natural. Só a ex-União Soviética contém cerca de 37 % das reservas mundiais. As reservas soviéticas contam também com cerca de 48 % do excedente exportável de gás natural. Estas reservas são suficientes para justificar as infra-estruturas de GNL para exportação.

O transporte por terra através de gasoduto é também uma possibilidade para as exportações soviéticas para a Europa. A Noruega e a Holanda contém também significativas reserva provadas. Considera-se que a Noruega é o único país da Europa que possui reservas suficientes para justificar o desenvolvimento de infra-estruturas de GNL.

2.3.2 Reservas do Médio Oriente

O Médio Oriente conta com cerca de 30 % das reservas provadas mundiais. O Irão, o Abu Dhabi e o Qatar detêm cerca de 71 % do total e cerca de 96 % das reservas exportáveis nesta região. Esta discrepância levanta-se porque grande parte do gás de

outros países da região está contido em reservas associadas, que não podem ser desenvolvidas para produção até que os depósitos de petróleo bruto associados sejam comercializados. A exploração continua e espera-se que as reservas totais de gás da região continuem a aumentar. Os três países referidos têm todas reservas suficientes para justificar o desenvolvimento de projectos de exportação de GNL.

2.3.3 Reservas da América do Norte

Os Estados Unidos e o Canadá têm cerca de 7 % das reservas provadas mundiais. As reservas provadas na América do Norte estão a aumentar aproximadamente à taxa à qual o gás está a ser consumido. As reservas adicionais de fontes não convencionais, tais como areias asfálticas e carvão podem aumentar significativamente as reservas totais disponíveis no Canadá se os aumentos de preço tornarem a recuperação financeiramente viável.

Os recursos totais de VHOs⁵ (incluindo areias asfálticas e xistos betuminosos) são estimados em pelo menos iguais aos dos petróleos brutos convencionais, mas são muito menos conhecidos. Uma grande proporção de VHOs descobertos estão localizados no Canadá (IEA, 1990).

O Departamento de Energia dos Estados Unidos estimou que a quantidade total de gás natural, recuperável a partir de todas as fontes, usando tecnologias existentes, corresponde a um excedente de oferta de 70 anos (IEA, 1992).

2.3.4 Reservas da Ásia-Pacífico

Esta região detém cerca de 7 % das reservas mundiais provadas. A Austrália, a Malásia e a Indonésia contam com cerca de 70 % das reservas da região, considerando-se que dispõem de reservas adequadas para suportar o desenvolvimento de uma infra-estrutura de GNL para exportação de gás natural. Nos últimos anos a tendência destes três países tem sido a de aumentar as suas reservas totais e exportáveis (IEA, 1992).

2.3.5 Reservas do México e América Latina

O México, a Venezuela, a Argentina e Trindade contam com cerca de 90 % das reservas provadas da América Latina. As reservas provadas da Venezuela têm estado a crescer rapidamente na última década, enquanto que as da maior parte dos outros países da região têm permanecido relativamente constantes ou declinado. Muitas das reservas do México encontram-se em depósitos associados.

Considera-se que as reservas da Venezuela e Trindade são suficientemente grandes para justificar projectos de exportação de GNL (IEA, 1992).

⁵VHOs - Very Heavy Oils (IEA, 1990).

2.3.6 Reservas da África

A África detém cerca de 6 % das reservas mundiais provadas de gás natural. A Argélia e a Nigéria contêm juntas cerca de 76 % das reservas provadas do continente sendo outros 10 % detidos pela Líbia. Tanto as reservas totais como as exportáveis têm flutuado na última década, apesar de terem estado geralmente sobre uma curva crescente. Considera-se que a Argélia e a Nigéria têm reservas suficientes para justificar o desenvolvimento de uma facilidade de exportação de GNL (IEA, 1992).

2.4 Cadeia de energia do combustível gás natural

A cadeia de energia do combustível do gás natural não é muito complicada. Os processos que necessitam de energia e conduzem a emissões são principalmente a extracção, o processamento, a distribuição e a fase de compressão do uso final.

A estimativa mais baixa para a necessidade será para uma produção onde o gás flui de um poço com elevada pressão. Esta situação deve ser vista como um caso especial e na maior parte dos locais de extracção é necessário fornecer energia para preparar o gás para transferência por gasoduto para o terminal a fim de ser processado. Segundo a Ecotrafic o valor mais usual será aproximadamente 3 % da energia combustível produzida, incluindo perdas e fugas ligadas ao processo de extracção.

O próximo passo no ciclo do combustível é o processamento, onde a necessidade de energia está altamente dependente da qualidade do gás extraído.

Considerando uma distribuição do gás natural através de gasodutos, o gás é "movimentado" com a ajuda de compressores. Estes são normalmente movidos por gás natural e a maior parte das fontes considera que é necessário 2 % da energia para esta actividade. Contudo, isto depende do comprimento da linha de distribuição e também da pressão obtida a partir do poço.

Na última parte da cadeia completa do combustível está a compressão de alta pressão até 200 bar. Os compressores são geralmente eléctricos e necessitam de electricidade correspondente a 3-4 % da energia do combustível produzido. A necessidade de energia depende da pressão final. Se o gás natural for usado para abastecimento lento de veículos será suficiente a mais baixa procura de energia, 3 %, para atingir a pressão máxima de 200 bar usada nos cilindros do veículo.

Uma alternativa é usar uma solução "fast fill", o que significa que o gás comprimido é armazenado num banco de alta pressão. Quando o veículo vai ser abastecido é ligado ao banco, ocorrendo uma igualização de pressão. A fim de minimizar a dimensão do banco a sua pressão tem de ser superior à pressão desejada no reservatório do veículo. Um valor normal é 250 bar e o consumo de energia é assim estimado em 4 % da energia do combustível produzido.

Se a electricidade necessária para o trabalho de compressão for gerada numa instalação de energia a gás natural, a necessidade de energia primária será da ordem dos 6.4 a 8.5 % dependendo do princípio "slow-fill" ou "fast-fill".

A procura de energia de compressão pode ser reduzida se o gás natural for tirado do gasoduto principal à mais elevada pressão, ou seja, o gás vem para o compressor com uma pressão de 30-50 bar. Nesse caso a necessidade de energia pode ser reduzida significativamente. Contudo, isto é muito raramente usado (ECOTRAFFIC AB, 1992).

Ao longo de toda a cadeia existem também perdas de gás (CH₄) devido a fugas por exemplo em gasodutos. Algumas das fontes indicam que as fugas da extracção e distribuição do gás natural são 2-3 % da produção na Europa e 3-4 % numa média global e que a maior parte ocorre no fim da rede.

As fugas podem também ocorrer a partir dos compressores do gasoduto e maquinaria da instalação. Estas perdas são estimadas em 0,7 % do combustível final. Os valores recentes da indústria do gás natural mostram que as emissões totais não são mais de 1 % da produção e para novos sistemas de oferta poderão ser obtidos níveis de 0,05 % de fugas. O nível de fugas do sistema de oferta de gás natural para a Suécia a partir do Mar do Norte é estimado em cerca de 0,1-0,5 %.

QUADRO 2.9 - Uso de energia na cadeia de combustível do gás natural

Fase	Uso de Energia MJ/MJ GNC
Extracção /Preparação	0.03
Processamento	0.02
Distribuição	0.02
Compressão Final	0.07
Total	0.14

Fonte: ECOTRAFFIC AB, 1992.

Estima-se que a eficiência total para o ciclo de combustível do gás natural se situe entre 78 % e 89 % e varia dependendo, por exemplo, da necessidade de purificação, capacidade compressora de distribuição e pressão para a compressão final. Aproximadamente 11 % a 22 % do conteúdo energético do gás natural é gasto antes que este possa ser distribuído a um utilizador final. Estas actividades darão lugar a emissões. O quadro seguinte mostra da eficiência de energia em diferentes fases do ciclo de combustível.

QUADRO 2.10 - Eficiência para um ciclo de combustível de gás natural

Processo	Eficiência em %
Extracção	96-97.5
Preparação processamento	96.8
Armazenamento	99.6
Transporte	95-97
Distribuição	88.4-97.3
Total	78-89

Fonte: IEA, 1992

2.5 Exploração do gás natural

A exploração do gás natural não tem muito de diferente da exploração do petróleo, efectuando-se através de um furo de perfuração. Normalmente, existem instalações associadas que permitem tirar certos elementos que dificultam a combustão do gás. Dado que as formações de gás natural estão sob uma enorme pressão, não é necessário qualquer bomba para o extrair (EQUITABLE GAS, 1994).

No passado, costumava ser extraído como um inevitável subproduto da extracção do petróleo, representando agora mais de 20% da totalidade da energia primária consumida.

A extracção do gás natural e a indústria de processamento têm um impressionante recorde de segurança (IEA,1992).

2.6 Processamento do gás natural

O gás natural é tratado de várias formas técnicas, sendo as principais o gás natural de gasoduto, o GNL (gás natural liquefeito) e o GNC (gás natural comprimido) (ECOTRAFFIC AB, 1992).

Os termos "gás de qualidade de gasoduto" e "gás natural liquefeito", referem-se a produtos que já foram geralmente processados a fim de remover os hidrocarbonetos mais pesados e os gases inertes. Os gases que não o metano poderão ser reduzidos para níveis muito mais baixos, sendo necessário algum processamento mesmo só para reduzir o conteúdo de água para valores mais baixos (IANGV,1990).

Todo o gás natural fornecido aos consumidores passou através de um processo de limpeza inicial para remover os contaminantes tóxicos. O tratamento exacto de purificação do gás saído do poço depende da sua qualidade.

Na maioria dos casos a extensão do processamento levado a cabo será prevista pelas necessidades de produção e comerciais. As duas principais fases neste processamento são por vezes referidas como de limpeza (a remoção de contaminantes) e de concentração (ajustamento do conteúdo de energia). Os processos actuais usados dependem da composição do fluxo de gás e do destino final do gás tratado, estando disponíveis vários processos para estas operações.

O modo como o gás disponível para o utilizador do veículo é afectado pela sua fonte dependerá da extensão do processamento. Os hidrocarbonetos mais pesados que o metano farão aumentar a energia armazenada a uma dada pressão e o conteúdo em energia específica de uma mistura de gás/ar mas, em altas concentrações, pode causar problemas no funcionamento do motor.

Pode ser que no longo prazo as necessidades especiais da indústria de NGV sejam consideradas. Pequenos aumentos nos componentes C₃ e C₄ serão bem vindos na medida em que farão aumentar a energia armazenada num dado volume. O limite para estes gases é determinado pela necessidade de evitar que se tornem líquidos às

mais altas pressões e mais baixas temperaturas. As alterações no rácio de octanas deverão ser também tomadas em consideração (IANGV, 1990).

2.6.1 Remoção de Contaminantes

Os chamados contaminantes primários são o vapor de água, o dióxido de carbono, o azoto e o sulfito de hidrogénio, devendo todo o gás natural ser processado para eliminar esses contaminantes antes de entrar no sistema de distribuição de gasoduto (IEA, 1992).

Todos os países que usam gás natural têm estabelecido especificações no que respeita à pureza e composição do gás processado distribuído aos consumidores. A mistura de hidrocarbonetos, a proporção de gases inertes e a quantidade de água e resíduo de enxofre afectam o valor calorífico do gás e a sua tendência para a corrosão ou danificação dos sistemas de distribuição e armazenamento.

Deste modo, se o gás natural for para ser usado como um combustível de veículo, a pureza e a composição terão de ser mais controladas devido aos seus efeitos sobre os cilindros de combustível do veículo e sobre os processos de combustão em motores de combustão interna. As grandes preocupações são com a corrosão em cilindros de armazenamento, com os componentes do motor e com as emissões.

O H_2S é altamente tóxico e uma das principais causas de corrosão devido à sua propensão para formar ácido sulfúrico na presença de humidade, não tendo outro valor económico senão como fonte de produção de enxofre.

O enxofre deve ser removido numa instalação apropriada, sendo o método mais largamente usado para o efeito o processo Amine, também designado processo Girdler, que utiliza soluções de amina (derivadas de amónia) para absorver o H_2S . O sulfito de hidrogénio removido pode ser usado para a produção de enxofre elementar, que por sua vez poderá ser utilizado como matéria prima para certos produtos, tais como fertilizantes.

O CO_2 e o N_2 são conhecidos como inertes porque não são combustíveis e reduzem o valor calorífico do gás natural no qual estão presentes. O CO_2 pode ser rapidamente removido lavando o fluxo de gás com solventes, mas o N_2 poderá ser apenas removido através de liquefacção, um processo dispendioso (MORENO,R; FALLEN BAILEY D.G., 1989).

A água causará quase sempre problemas se for encontrada num sistema de gasoduto ou no processo de compressão final, sendo geralmente reduzida para níveis muito baixos, na unidade de processamento.

O gás natural do Mar do Norte é geralmente de boa qualidade sem processamento, ou seja o valor calorífico é elevado e a quantidade de componentes indesejáveis, tais como o enxofre é baixa. O gás à saída do poço do Canadá é frequentemente elevado em impurezas de enxofre que deverão ser removidas (IEA,1992).

2.6.2 Recuperação de Elementos

As instalações de processamento de gás são também utilizadas para a recuperação de constituintes liquidificáveis geralmente encontrados no gás natural, tais como gasolina natural, butano e propano (IEA, 1992).

Os gases hidrocarbonetos etano, propano e butano têm um valor económico. O etano é usado como matéria-prima petroquímica, mas quando apresentado apenas em pequenas quantidades é habitualmente deixado no gás natural. O propano e o butano são gases a temperaturas ambiente mas podem ser rapidamente reduzidos a líquidos através de compressão ou refrigeração, sendo usados como combustíveis separadamente ou, como acontece em geral, como uma mistura, sendo conhecidos como gases de petróleo liquefeitos (GPL) (MORENO,R; FALLEN BAYLEY D.G., 1989).

2.7 Armazenamento do gás natural

Armazenar um gás é sempre problemático devido ao grande volume que ocupa. A maneira mais apropriada que se encontrou para armazenar gás natural foi voltar a reinjectá-lo no subsolo, existindo para isso tecnologias apropriadas.

Uma outra maneira de armazenar o gás é na forma liquefeita, mas o choque térmico deste armazenamento é muito grande. O reservatório pode ser instalado à superfície, pode ser semi-enterrado ou completamente enterrado. Quando se instala um reservatório há que ter em conta o subsolo e o fenómeno da liquefacção da areia, pois esta comporta-se como um líquido, pelo que são necessários estudos aprofundados sobre a composição do solo.

2.8 Transporte e distribuição de gás natural

2.8.1 Sistemas de Transporte

Os gasodutos são condutas por onde o gás passa, podendo este ser também transportado na forma liquefeita. Uma das formas de transportar GNL é através de camiões cisterna. As estatísticas mostram que o transporte do gás em gasoduto é muito seguro (IEA,1992).

Uma vez que os gasodutos estão localizados no subsolo, os sistemas de transmissão e distribuição são construídos por forma a que estejam protegidos de quaisquer perigos. Assim, as condições climáticas adversas tais como temporais de gelo não afectam o sistema.

Os gasodutos são construídos e testados para funcionar a elevadas pressões, sendo construídas estações compressoras de 50 a 100 milhas ao longo do gasoduto para restaurar as perdas de pressão.

As companhias de transmissão transportam o gás natural dos poços produtores para as companhias locais de distribuição, sendo o combustível depois distribuído aos consumidores através de um sistema de gasoduto similar (EQUITABLE GAS, 1994).

2.8.2 Terminais de liquefacção e de regaseificação

Um terminal de liquefacção é uma instalação de produção de frio. Quando o gás passa por uma instalação de liquefacção, fica 600 vezes menos volumoso, na forma liquefeita, podendo ser transportado num navio, a que se dá o nome de metaneiro. Na última década poucos foram construídos no mundo, havendo uma escassez cada vez maior de metaneiros.

No terminal metaneiro de regaseificação há um sistema de vaporização, podendo existir dois tipos de vaporizadores (sistemas que permitem passar do estado liquefeito para gás): um deles utiliza uma permuta térmica da água do mar ou do rio onde está instalado o terminal, sendo o tipo mais económico, o outro é o sistema de combustão submersa. Neste último o gás natural entra num recipiente onde há uma combustão submersa, tendo a desvantagem de consumir energia.

2.8.3 Sistemas de distribuição

Até aos pontos de consumo existem estações de compressão e estações de regulação de modo a garantir que o gás chegue aos locais de consumo nas melhores condições. O "big system" é um equipamento de controle das tubagens do gasoduto funcionando como sistema de segurança. O ponto de consumo pode ser alcançado através de gasoduto, através de GNL ou através de sistemas mistos.

O contínuo desenvolvimento do sistema de transmissão liga os países através de redes extensivas. Aproximadamente 200 biliões de metros cúbicos por ano de gás são vendidos e transmitidos internacionalmente via gasoduto.

Mais de 55 biliões de metros cúbicos por ano são transportados na forma de gás natural liquefeito em metaneiros. Existem 17 países exportadores e 30 países importadores envolvidos no comércio internacional de gás.

A tecnologia de transmissão do gás natural tem atingido níveis muito elevados, como demonstram as estações de liquefacção/regaseificação, navios metaneiros e gasodutos submersos na água. Igualmente, a tecnologia para usar gás natural em todos os sectores tem sido consolidada em todo o mundo, existindo uma infra-estrutura rica e sofisticada que faz o gás natural estar presente no mundo industrializado e nas áreas em desenvolvimento dos cinco continentes.

Há, assim, uma infra-estrutura em que se pode confiar, que está integrada e por consequência perfeitamente adequada para servir de suporte ao uso do gás natural no sector dos transportes.

2.9 Vantagens da utilização do gás natural

De uma forma resumida podem apontar-se as seguintes vantagens: relativa abundância, questões associadas a benefícios ambientais, comodidade e segurança de utilização, a sua competitividade.

O gás natural não tem usos cativos, podendo competir nos vários sectores da actividade económica. Está implantado em muitas actividades não só domésticas como profissionais, podendo ser usado no sector industrial, no sector residencial e no sector serviços.

Existe, neste momento, uma infinidade de aplicações de GNL que não são no sector industrial mas que estão associadas. Outras aplicações estão ainda num estado embrionário de aplicação: são os fuel cells.

A versatilidade do gás natural é sublinhada pela sua grande compatibilidade ambiental que faz, sem dúvida, aumentar o seu potencial para um crescimento considerável para além do que tem já sido obtido. As suas propriedades físicas e químicas, tornam o gás natural um dos elementos mais eficientes nas políticas energéticas visando a preservação do ambiente sem comprometer o desenvolvimento económico (BRANDA, 1992).

O gás natural é um combustível mais limpo que os combustíveis fósseis convencionais, porque produz menos poluentes, nomeadamente, os que contêm enxofre. A produção de CO₂ é substancialmente inferior à de qualquer dos combustíveis seus concorrentes. A sua introdução fará reduzir drasticamente a emissão de poluentes, tais como o CO₂, o SO₂ e o NO_x, contribuindo para uma melhoria dos padrões de qualidade do ambiente. O número de acidentes com o gás natural é, estatisticamente, muito inferior ao que se verifica com a electricidade e o seu transporte é muito mais seguro que o dos GPL.

A introdução de gás natural poderá constituir um motor de desenvolvimento económico, não só através de melhorias que originará numa parte importante dos processos produtivos do tecido industrial como também através de efeitos induzidos na indústria de equipamento, nos serviços e no emprego. Porém, ao introduzir o gás natural num país deverá existir um mercado potencial mínimo, suficiente para viabilizar os investimentos necessários à construção das infra-estruturas de recepção, transporte e distribuição e ser adoptada uma política tarifária que permita rentabilizar o investimento nas infra-estruturas, assegurando ao mesmo tempo condições de competitividade do gás natural face aos combustíveis concorrentes.

2.10 Mercado do gás natural

Os vários métodos de processamento do gás natural, bem como a despesa de embarque de um produto gasoso durante longas distâncias, significa que qualquer discussão sobre a oferta deverá ser moderada com considerações de acesso aos

mercados. O gás natural é muito adequado para um sistema de distribuição descentralizado numa escala local (por exemplo, através de aplicações de reabastecimento doméstico). A um nível regional ou internacional, a distribuição é económica apenas numa escala muito grande (por exemplo, gasodutos ou instalações de gás natural liquefeito, GNL).

Com efeito, os pequenos movimentos inter-regionais ou internacionais de gás natural não são geralmente viáveis, dado que as instalações de GNL e os camiões cisterna e gasodutos envolvem substanciais custos fixos e requerem grandes volumes de gás para o justificar (IEA, 1992).

Sempre que há uma crise energética há uma recessão a nível mundial. Para os responsáveis dos diversos sectores, a fiabilidade dos sistemas energéticos é um aspecto crucial. É necessário evitar ficar dependente de uma única fonte de abastecimento, diversificando as fontes e maximizando a possibilidade de recorrer a fontes endógenas. Porém, estas são muitas vezes desconhecidas senão mesmo inexistentes.

Só a partir da década de 60 é que o gás natural começou a ser relevante. A procura tem vindo a aumentar, fruto do reconhecimento dos méritos próprios das suas características e da percepção do bem-estar das pessoas associada ao desenvolvimento tecnológico. O gás natural veio, assim, ao encontro da preocupação das em desenvolver uma noção nova de bem-estar.

No sector doméstico prevê-se que a procura continue a aumentar porque ainda há uma cobertura pouco expressiva dos vários países que introduziram o gás natural, estando alguns em fase incipiente e os factores de comodidade e bem-estar continuarão a estar presentes. O próprio gás natural poderá induzir hábitos diferentes na população.

No sector doméstico não será polémico dizer que a procura de gás natural tenderá a crescer e a tendência dos responsáveis pelo planeamento energético é no sentido de incentivar esse crescimento.

O raciocínio feito para o sector doméstico aplica-se ao sector dos serviços, mas com maior incidência nos países em vias de desenvolvimento, existindo uma apetência para um crescimento deste sector nos países do sul. Prevê-se que no sector dos transportes se verifique um grande aumento do consumo de gás natural. Prevê-se também que nos próximos tempos, o gás natural tenha uma penetração fortíssima no sector eléctrico.

Os movimentos internacionais de gás natural em larga escala estão sujeitos a contratos de longo prazo. Não há nenhuma companhia que negocie directamente com os compradores, existindo para isso consultores especializados. Estas negociações são extremamente complicadas. Os contratos são, normalmente, de 20 anos, situação que tem a ver com a segurança de abastecimento (contratos de longo prazo como caução ou garantia de abastecimento) e com o facto de os investimentos numa estrutura de gás serem muito grandes. São investimentos com períodos de retorno da ordem dos 15 anos.

Os preços do gás natural estão relacionados com os preços do petróleo bruto, dado que ambos são fontes primárias de energia e concorrem entre si. A relação não é directa porque o gás natural não é tão rapidamente comercializável numa base instantânea como o petróleo bruto. Em 1992, o preço do gás natural na América do Norte encontrava-se entre US\$1.00 e US\$1.50 por Gigajoule. Os preços do gás natural estão indexados aos derivados do petróleo, com significado, e a outros combustíveis como tendência.

Quadro 2.11 - Previsão dos preços do gás natural (Jensen)

	Preço do petróleo constante			Preço do petróleo crescente		
	1990 \$/GJ	2000 \$/GJ	2010 \$/GJ	1990 \$/GJ	2000 \$/GJ	2010 \$/GJ
Japão	3.30	3.30	3.30	3.30	5.70	5.70
América do Norte -Costa do Golfo dos E.U.A -Alberta	2.12	2.77	3.42	2.00	4.19	4.74
Bacia Atlântica -Noruega						
Tromsflaket	1.57	1.57	1.57	1.57	1.61	1.84
Frigg	1.05	1.05	1.05	1.05	1.93	1.66
Frigg Oriental	1.82	1.82	1.82	1.82	1.82	2.06
ex URRS -Sibéria Ocidental	2.00	2.00	2.00	1.94	3.55	3.55

Fonte: IEA, 1992.

De acordo com as previsões efectuadas por JENSEN, com base num cenário em que o preço do petróleo bruto se mantém constante entre 1990 e 2010 e outro em que tem um comportamento crescente, os preços serão mais baixos na Europa que na América do Norte (IEA, 1990).

3. ECONOMIA DOS TRANSPORTES

3.1 Introdução

Os transportes têm tido sempre um papel de relevo na vida económica e social e têm sido um dos factores fundamentais para a evolução das civilizações. O desenvolvimento económico está muito ligado à mobilidade dos indivíduos, dos bens e de ideias e ideologias (comunicação). As próprias civilizações têm reconhecido a importância que os transportes possuem.

Nas sociedades modernas têm havido um aumento da riqueza e do bem-estar social, sendo a mobilidade dos indivíduos um dos elementos mais valorizados. Os transportes têm evoluído a um ritmo crescente porque as pessoas têm cada vez maior necessidade deles.

O estudo dos transportes começou a fazer-se muito recentemente. Os indivíduos e as mercadorias deslocam-se porque há sempre razões específicas para estarem num local e não noutra. Há sempre um motivo para a deslocação individual, o mesmo se podendo dizer em relação às mercadorias.

Sem os transportes as regiões estariam limitadas aos seus recursos e mercados locais. De facto, o que acontece é que há uma procura crescente por mercados diferentes. A partir de uma localização poder-se-á deduzir quais são as suas necessidades de transporte. Os volumes de tráfego reflectem a localização das diferentes actividades.

Se por um lado os serviços de transporte dependem da localização, por outro, há situações em que a localização das actividades depende da existência de serviços de transporte.

No sector dos transportes existe uma relação entre a quantidade procurada e o preço. Mas, procura neste sector é uma palavra que requer alguma reflexão. De facto, existem vários factores que dão à procura de transporte um carácter bastante variável.

3.2 Transportes de mercadorias

No caso do transporte de mercadorias, a velocidade pode ser mesmo mais importante que o custo de transporte, podendo referir-se, a título de exemplo, o caso de mercadorias deterioráveis ou a necessidade urgente de entrega de uma peça sobressalente para uma unidade fabril (o que interessa aqui é a velocidade, pois a produção está parada).

Um factor também importante é a manutenção dos horários. Uma política de minimização dos "stocks" só poderá ser possível com uma garantia de manutenção dos horários do transporte à entrada e à saída.

A continuidade dos serviços é um factor também importante. As pessoas poderão pagar transportes mais caros, para terem a garantia de uma continuidade de serviços. As empresas de serviços de transporte poderão ter mais volumes de carga que as frotas próprias, com custos mais baixos.

Um outro factor é a segurança do transporte, que pode assumir dois aspectos: a segurança de não danificação da mercadoria e a segurança em relação ao roubo da mercadoria. A questão toma maior importância quando existem operações de transbordo pois o risco é maior. Por tradição, os caminhos de ferro têm grandes problemas no que se refere à segurança no transporte de mercadorias.

3.3 Transporte de passageiros

O primeiro factor referido para o transporte de mercadorias não deixa de ser importante para o transporte de passageiros, os tempos de viagem. As poupanças de tempo estão relacionadas com poupanças monetárias.

A qualidade do serviço é um outro aspecto importante no transporte de passageiros. A segurança, o conforto, a conveniência, a flexibilidade são importantes no transporte individual. O veículo privado é sempre mais flexível que outro meio de transporte. A flexibilidade é a possibilidade de se mudar o trajecto quando se quer.

Estes vários factores são sempre desejáveis. O rendimento disponível dos indivíduos é particularmente importante nas escolhas de transporte individual. O rendimento afecta o valor dado à qualidade dos serviços mas também o valor dado ao tempo. As pessoas de maiores rendimentos fazem normalmente um maior número de viagens.

Efectivamente, os serviços de transporte têm alguma complexidade, não é simplesmente transferir algo ou alguém de um lugar para outro com um determinado custo. Aquele que tem necessidade de transporte vai fazer uma comparação entre o custo de transporte e um conjunto de características de factores que lhe dão satisfação.

As decisões não são tomadas somente com base nos custos de transporte, o que não quer dizer que estes não sejam importantes. Os transportes possuem características específicas, existindo três elementos que vão contribuir para os custos: o veículo propriamente dito (qualquer que seja o meio de transporte há sempre custos que têm a ver com o veículo), a via onde se vai efectuar o transporte e a interligação que tem de existir entre os outros dois elementos (terminais).

Normalmente, os transportes que têm menores custos com a via são os que têm maiores custos com os terminais. Para além destes custos podemos considerar um outro conjunto de custos, que têm a ver com os efeitos secundários (congestionamento, ruído, poluição atmosférica), sendo aqueles que de uma forma genérica se designam por custos sociais. Estes efeitos têm vindo a assumir uma proporção maior e um reconhecimento cada vez maior por parte das autoridades, sendo particularmente importantes no sector urbano.

3.4 Transportes urbanos

Os principais problemas que afectam os transportes urbanos sã a poluição e o congestionamento urbano. Tanto um como o outro constituem o sob. consumo de um bem público. No entanto, enquanto que no congestionamento os efeitos causados pelos utentes vão incidir sobre os próprios utentes, no caso da poluição, aqueles que causam os efeitos não são necessariamente aqueles que têm de os suportar.

3.4.1 Congestionamento

No que respeita ao congestionamento, o número de utentes vai aumentando progressivamente chegando-se a uma situação em que o simples facto de o número de utentes ser demasiado elevado vai começar a influir no seu bem-estar.

Eventualmente, chegar-se-á a um ponto em que o benefício usufruído por mais um utilizador vai ser mais pequeno do que a perda de benefício que esse utilizador está a causar a todos os outros. A partir daqui o benefício marginal é negativo mas ainda há um benefício em utilizar o lugar. Por isso, ainda há tendência para a sua utilização.

Cada vez existe uma maior dificuldade de movimentação, chegando-se a uma situação em que os utentes deixam de ter benefício por completo por se encontrarem nesse local. Introduzindo regulamentação (sinalização luminosa, estradas com sentido único, etc.) as autoridades podem evitar que se atinja esse ponto.

Para medir todos os custos e benefícios é necessário valorizar todos os efeitos, podendo ser identificados dois conceitos de custo: o custo real e o custo perceptível. O utilizador do transporte privado tem normalmente uma visão optimista. Os custos perceptíveis são inferiores aos custos reais, sendo a procura superior àquela que existiria se se houvesse outra consciência dos custos.

À medida que o número de veículos que utilizam a via aumenta, a velocidade vai diminuir cada vez mais, chegando-se a uma situação em que essa diminuição vai ser drástica, diminuindo mesmo o caudal (número de veículos por unidade de tempo). A tendência é para que os custos médios sejam crescentes quando o caudal aumenta.

Podem ser identificadas três zonas: zona de caudal normal, zona de caudal instável ou zona de instabilidade (a velocidade começa a diminuir muito drasticamente para pequenos aumentos de caudal e a partir de certo ponto o caudal vai mesmo diminuir), e zona de caudal forçado (o movimento processa-se muito lentamente).

Os métodos de contrôle do congestionamento são as portagens urbanas, as taxas de estacionamento, os subsídios aos transportes públicos e a gestão de tráfego.

3.4.2 Poluição

Os principais tipos de poluição urbana são a poluição do ar, o ruído, a poluição visual (introsão visual), existindo também outros efeitos como a perda de privacidade,

perda de luz, ou a vibração causada pelos transportes (que pode provocar danos nos edifícios e pessoas). Por outro lado, as infra-estruturas de transporte causam transtornos aos peões.

Os factores considerados mais importantes são o ruído e a poluição dos gases de escape. O ruído urbano tem origem nos vários meios de transporte que são predominantes numa zona urbana. Normalmente, o que causa mais prejuízo é o do tráfego rodoviário. A inconveniência causada pelo som tem a ver com a duração, a frequência e a maneira como este varia durante o seu tempo de existência. O ruído não tem sempre a mesma intensidade durante o seu tempo de duração.

A intensidade do ruído também é função da distância a que é medido, tendo a vantagem, em relação aos outros factores de poluição, de ser facilmente mensurável, existindo instrumentos de medição relativamente baratos e simples de utilizar.

A poluição do ar está muito ligada aos gases de escape que são emitidos pelos veículos. Em certas situações os veículos não podem manter níveis de aceleração estabilizados. É normalmente nas rotações que correspondem à velocidade de cruzeiro que os veículos têm uma maior eficiência.

Quanto maior for o número de intersecções maior será a contribuição para a poluição. Um outro aspecto que afecta o nível de poluição é o declive das infra-estruturas viárias nas cidades. Para além disso, as zonas urbanas têm características que dificultam a dissipação dos gases de escape. A dispersão dos poluentes depende do clima, das características topográficas e da estrutura urbana da área em estudo.

3.4.3 Gestão de transportes em meio urbano

Para melhorar a eficiência do tráfego em áreas urbanas, melhorando assim o seu ambiente e fazendo baixar, ao mesmo tempo, o seu consumo de energia é necessário obter uma repartição óptima entre os vários modos de transporte, favorecendo os modos que consomem menos espaço e energia, assim como os menos poluentes.

Os veículos individuais são o modo que consome mais espaço e energia e também o mais poluente, devendo a procura de tráfego para este modo ser mantida sob controle.

As estratégias disponíveis para obter esse objectivo incluem planos de tráfego limitando o acesso às áreas centrais, corredores para autocarros, portagens aplicadas a estradas e zonas específicas e também sistemas de "park and ride" (interfaces de transferência modal).

Em termos globais, as orientações técnicas e políticas ao nível da comunidade internacional para cumprir os objectivos de diversificação e eficiência energética apontam para a introdução de medidas ao nível tecnológico que promovam a eficiência energética de todos os modos de transporte, a introdução de medidas que induzam a redução da procura de transportes sem contribuir para a perda de mobilidade (através da redução das deslocações em consequência da aproximação da origem e do destino

dos passageiros com base no planeamento e ordenamento do território e da redução da necessidade de transportes com base no aperfeiçoamento dos sistemas de telecomunicações, registo e transmissão de informação), a introdução de medidas que promovam as transferências modais para modos de transporte de intensidades energéticas mais baixas, a melhoria da qualidade do serviço dos transportes públicos, aplicação de impostos, bem como a actuação ao nível da definição de tarifas.

É de referir a importância de uma gestão integrada e de uma coordenação do sistema de transporte, no sentido de assegurar a satisfação das necessidades de mobilidade com uma repartição modal do sistema baseada em modos de intensidade energética baixa e da definição de uma política de investimentos em infra-estruturas de transporte sem penalizar o TP (Transporte Público) em benefício do TI (Transporte Individual).

O TI tem uma eficiência energética inferior à do TP. Por exemplo, e no caso português, as gramas de equivalente petróleo por passageiro - quilómetro (gep/pkm⁶) são entre 3 e 4 vezes inferiores no TP de passageiros em relação aos consumos no TI.

O automóvel consome cerca de 51 gep (gramas equivalentes de petróleo) por passageiro quilómetro, enquanto que o autocarro consome cerca de 13 gep. A energia consumida, na União Europeia, pelo sector dos transportes tem crescido cerca de 4 % ao ano (MENEZES, 1992).

As viagens diárias per capita estão sempre a crescer, especialmente viagens usando veículos privados. Apesar do consumo típico de gasolina de um veículo ligeiro novo ter descido cerca de 23 % durante os últimos 15 anos, o consumo total de gasolina permaneceu mais ou menos estável. Uma das razões é o aumento da dimensão do veículo médio (de 1300 - 1400 cc para 1800 - 2000 cc na Comunidade Europeia) e o aumento da frota (PEYREBONNE, 1992).

O tráfego rodoviário cresce correntemente mais depressa que a capacidade da infra-estrutura rodoviária. Além disso, em áreas urbanas o tráfego está a crescer muito mais rapidamente do que em áreas não urbanas.

Deve notar-se que existe ainda uma falta de informação sobre consumo de energia e emissões poluentes em cidades de média dimensão na Europa, existindo também uma falta de padronização para recolha de dados.

O estudo sobre utilização actual de carros privados empreendido na França pelo INERTS (Instituto Nacional de Investigação sobre os Transportes e sua Segurança) entre 1983 e 1986 mostrou que 25 % de viagens urbanas usando carros privados tinha menos de um quilómetro, 52 % tinham menos de 3 km e 84 % menos de 10 km (PEYREBONNE, 1992).

Alguns dos fenómenos que estão na raiz do aumento do modo de transporte privado relacionam-se com padrões de desenvolvimento urbano, sendo de salientar a criação de áreas residenciais longe das áreas de trabalho, o desenvolvimento de

⁶ pkm - Corresponde ao número de passageiros transportados por quilómetro.

esquemas de casas de habitação nos arredores das cidades e a instalação de grandes centros comerciais.

Considera-se que, para o longo prazo, a única solução viável é reforçar a parte de transporte público, devendo o transporte público tornar-se competitivo em relação ao modo de transporte individual, em termos de qualidade de serviço. Em algumas cidades do norte da Itália, as acções para favorecer o uso de transporte público e desencorajar o uso de veículos privados visam não só a melhoria do tráfego, mas também a preservação de aspectos culturais e de arquitectura.

Para obter uma redução do uso de veículos privados nas cidades serão necessárias medidas autoritárias difíceis de aplicar nas nossas democracias, ou uma mudança de mentalidades através de campanhas de informação, que poderão não ser eficientes se forem demasiado radicais. Várias medidas para controlar a procura de tráfego foram já testadas em diversos países.

Uma das possíveis medidas são as horas de trabalho flexíveis para limitar os picos de tráfego de manhã e de tarde e o congestionamento. As medidas autoritárias através de decisões administrativas não têm provado ser muito eficientes e em alguns casos, o efeito foi negativo. A flexibilidade em horas de trabalho tem sido encarada como a melhor solução, mas em muitas cidades, os períodos de pico são já de tal forma extensos que pouca melhoria pode ser esperada das horas de trabalho mais flexíveis.

Uma outra medida testada foi a de proibir os veículos de circular em dias de trabalho específicos dependendo do seu número de chapa da matrícula. Esta medida foi aplicada em Atenas e Cidade do México. Porém, apesar das autoridades considerarem que a medida teve sucesso, a análise dos dados disponíveis não tem confirmado isso, pois na Cidade do México, a medida tem gerado uma explosão na venda de veículos novos e usados, porque a população, com o objectivo de circular todos os dias, usa veículos com diferentes placas.

No que respeita às portagens e restrições ao tráfego em secções rodoviárias e áreas específicas, Singapura é a única cidade a ter aplicado uma portagem a toda a sua área central. A necessidade de fornecer compartimentos para a portagem, consumidores de espaço, torna muito difícil a aplicação de portagens em áreas urbanas. No entanto, hoje em dia, os compartimentos capazes de ler cartões magnéticos à distância sem a necessidade de parar o veículo, tornam possível a aplicação de portagens em estradas urbanas. Tais dispositivos estão a ser testados em auto-estradas em França e Itália.

Uma outra medida utilizada são as taxas e restrições de estacionamento perto dos locais de trabalho. O melhor modo de induzir as pessoas a ir para o trabalho com o seu veículo particular é fornecer-lhes um parque de estacionamento livre e protegido perto do seu local de trabalho.

Uma das soluções que tem sido proposta é a criação de um parque de estacionamento de transferência nos principais terminais periféricos de transporte público, pois é quase impossível fornecer um serviço de transporte público satisfatório

em áreas residenciais individuais periféricas. Por consequência nestas áreas as pessoas usarão o seu veículo sejam quais forem os desincentivos e custos. O que é possível, contudo, é facilitar a transferência para as linhas de trânsito de massa antes de atingir a área central, através da existência de parques de estacionamento nas principais estações, nos subúrbios.

Estes parques de estacionamento deverão ser usados livremente ou a um baixo custo, embora a segunda solução pareça a melhor, dado que permite manter e assegurar protecção suficiente para veículos abandonados todo o dia.

O desenvolvimento das telecomunicações modernas (telefone móvel, facsimile, televideo, teletransmissão de dados, etc.) poderá reduzir a necessidade de viagens diárias. Os planos de gestão de tráfego poderão, por outro lado, fornecer melhorias na capacidade e fluidez do tráfego.

Os sistemas de controle de tráfego computarizados são eficientes em termos de melhorias de capacidade, tempo e poupanças de energia. Em Glasgow, foram observadas poupanças de gás de 3 a 6 %. Em Caen, França, um estudo sobre 62 intersecções mostrou uma poupança de 22 tep (toneladas equivalentes de petróleo) por ano por cruzamento. O programa FETSIM (Fuel Efficient Traffic Signal Management) na Califórnia permitiu uma poupança de gás de 6 % ou 12 tep por ano por intersecção. As rotundas permitem poupanças de tempo e de energia (0,5 % de acordo com um estudo americano) (PEYREBONNE, 1992).

As estradas de penetração sofrem muitas vezes um desequilíbrio de tráfego entre as duas direcções opostas. A solução é uma alteração de vias para equilibrar as cargas de tráfego, dando mais vias durante o período de pico para a direcção mais carregada, através de luzes específicas (geralmente setas verdes e cruces vermelhas no suporte). Esta medida tem sido muitas vezes aplicada em cidades americanas, podendo permitir poupanças de energia de 10 %. Em Portugal existem algumas experiências na área metropolitana de Lisboa.

Ao implantar uma estratégia, é importante que uma única autoridade seja capaz de coordenar os estudos técnicos e o programa de investimentos para todos os transportes públicos e tráfego na área metropolitana de uma cidade (PEYREBONNE, 1992).

O impacte ambiental existente em áreas urbanas com uma repartição muito mais favorável ao transporte individual é preocupante. O automóvel emite mais óxidos de azoto, monóxido de carbono e anidrido carbónico por km-passageiro que o autocarro.

**Quadro 3.1 - Emissões de diferentes modos de transporte
(gramas/km/passageiro)**

	Óxidos de Azoto	Monóxido de Carbono	Dióxido de carbono
Automóvel	1.6	21	240
Autocarro	0.9	1	70
Comboio	0.3	0.01	80

Fonte: Menezes, 1992.

É produzido muito trabalho na Europa para recolher e processar dados sobre o consumo de energia e emissões poluentes. Cada cidade aplica os seus próprios métodos, devendo a Comunidade Europeia harmonizar as definições de dados a ser recolhidos, os métodos de os recolher e processar.

A maior parte das pequenas e médias cidades não têm meios para recolher informação precisa sobre poluição e até as maiores cidades não são capazes de determinar precisamente o consumo de energia no sector dos transportes.

Encontram-se disponíveis poucos meios para estimar o impacto das medidas de gestão de tráfego sobre o consumo de energia e poluição. Neste campo, a rede OPET que opera no âmbito do Programa "Thermie" tem certamente um grande papel a desempenhar (PEYREBONNE, 1992).

A informação acerca dos efeitos ambientais, tanto positivos como negativos, do tráfego de autocarros não tem atingido toda a população (VOLVO, 1989).

3.5 A Política Europeia dos Transportes

Em 1989 na Comunidade Europeia o consumo de energia do sector dos transportes atingiu pela primeira vez o da indústria, alcançando os 222.6 milhões de tep (toneladas equivalentes de petróleo), o que representa 31 % do consumo total de energia. Segundo a Comissão das Comunidades Europeias, a energia consumida no sector dos transportes é obtida a partir do petróleo em 99 % (PEYREBONNE, 1992).

De acordo com o Livro Branco da Comunidade, embora se tenham registado alguns progressos nos últimos anos, estamos longe da Política Comum de Transportes, prevista no Tratado de Roma.

Actualmente, verificam-se situações de grande desequilíbrio entre os vários modos de transporte e no desenvolvimento do sector nas diferentes regiões comunitárias, bem como grandes pressões sobre o ambiente, que são consequência do grande crescimento da procura de transportes que se tem observado nos últimos vinte anos.

Verifica-se que no espaço europeu, o transporte rodoviário de mercadorias aumenta a sua quota de 50,6 % para 69,9 % enquanto que o transporte ferroviário diminuiu de 27,8 % para 15,4 %, o transporte fluvial de 13,6 % para 9,2 % e o transporte por oleoduto de 8,0 % para 5,5 %.

É de referir que o transporte marítimo de longa distância continua a ser bastante importante em termos intra-comunitários de longa distância, correspondendo a mais de 30 % das mercadorias transportadas entre Estados-membros. Apesar de ter tido um crescimento de cerca de 35 % entre 1975 e 1985, manteve-se praticamente estável a partir dessa altura.

Em relação ao transporte de passageiros, houve um crescimento superior a 85% durante o mesmo período (1970-1990), tendo a quota relativa ao transporte aéreo mais que duplicado (passou de 2,2 % para 5,6 %) e a quota relativa ao transporte em veículos particulares aumentado de 76,1 % para 79,0 %. Por sua vez, os transportes ferroviários efectuados em autocarro diminuíram a sua quota de mercado para 6,6 % e 8,9 % respectivamente (SEQUEIRA, 1993).

Nesta altura, o principal desafio será o de delinear uma estratégia que permita oferecer, da maneira mais eficaz os serviços necessários para o êxito do Mercado Único, de modo a minimizar os desequilíbrios e as ineficiências.

Assim, deverão ser detectados os entraves à satisfação da procura de transporte, as insuficiências da rede de infra-estruturas, os principais problemas que impedem a conciliação entre o sector dos transportes e a protecção do ambiente, sendo também necessário analisar a segurança dos transportes, em especial para os transportes de mercadorias perigosas, assim como dificuldades encontradas ao nível da política social.

Em termos de prioridades, foi definido um programa para o desenvolvimento futuro da Política Comum de Transportes, englobando cinco eixos principais: o desenvolvimento e a integração dos sistemas de transporte da Comunidade, a segurança, a protecção do ambiente, a dimensão social e as acções externas, sendo enunciado, para cada um destes temas um conjunto de acções prioritárias.

No que respeita ao transporte rodoviário, cabe referir que se prevê a execução de um programa de segurança rodoviária, incluindo acções prioritárias no domínio da educação e do comportamento dos condutores e da segurança dos veículos, directivas técnicas relativas ao controlo técnico dos veículos em termos de compatibilidade ambiental e também melhoria da qualidade do ambiente urbano pela promoção dos transportes públicos (SEQUEIRA, 1993).

3.6 Caracterização do Mercado Mundial de veículos a gás natural

3.6.1 Introdução

Em 1990 o gás natural contava apenas com 0,25% das necessidades globais de energia nos transportes, prevendo-se que por volta do ano 2000, ele não tivesse, provavelmente, mais de 1% do mercado que poderia alcançar, por essa altura, 30 milhões de barris de petróleo por dia (WGI, 1990).

No entanto existem certas pressões (de natureza ambiental, económica e técnica) que estão a fazer aumentar o valor do gás natural como combustível e a estimular os progressos de I&D e a introdução do NGV.

O movimento no sentido de um maior uso de gás natural como combustível de veículo está a ganhar impulso, com base em programas de investigação sofisticados em todo o mundo, com o apoio de legislação, procurando-se alcançar limites de qualidade de ar. Os veículos a gás natural estão a emergir como uma das soluções mais prometedoras para alguns dos problemas dos gestores de frotas (BRITISH GAS, 1991a).

Pelo menos 40 países em todo o mundo têm veículos a gás natural em operação ou fizeram declarações oficiais da sua intenção de empreender programas de NGV.

Porém, para que este combustível consiga uma considerável penetração num mercado considerado, durante muito tempo, de domínio exclusivo do petróleo, necessitará de uma mudança na política por parte dos principais governantes mundiais. Com efeito, os elevados custos de conversão, os baixos preços do petróleo, a falta de forte apoio governamental e certos aspectos institucionais favorecem ainda a tradicional oferta de petróleo (IEA, 1992).

3.6.2 Indústria de veículos a gás natural

A indústria de NGV encontra-se largamente dispersa, sendo constituída pelas companhias de gás, fabricantes e instaladores de equipamentos e operadores de frotas e apoiada pelas organizações de I&D e consultores. Os fornecedores de gás estiveram entre as primeiras indústrias organizadas, estando a trabalhar com fabricantes de alguns dos mais avançados motores para promover o NGV (IANGV, 1990).

Apesar da sua diversidade e dispersão inicial, a indústria de NGV está agora a caminhar rapidamente para uma forte coesão, o que é fundamental para entrar num mercado fortemente dominado pelos combustíveis líquidos. Poderá apresentar uma alternativa clara, quando a tecnologia necessária para fazer diminuir o impacto ambiental dos combustíveis líquidos tradicionais for mais procurada e o preço desses combustíveis aumentar.

3.6.3 Veículos a gás natural

Os fabricantes de equipamento original (OEM⁷) não têm até muito recentemente produzido veículos unicamente destinados ao uso de gás natural: em vez disso, os proprietários têm convertido os seus veículos depois da aquisição.

Existiam em 1992 cerca de 700000 veículos a gás natural em uso no mundo. A maior parte eram veículos ligeiros a gasolina convertidos, sendo uma elevada proporção conversões "bi-fuel"⁸.

QUADRO 3.2 - Principais populações mundiais de NGV (1991)

Pais	Veículos a gasolina	Veículos a gasóleo	Estações de Abastecimento
	315000	ND	339
Itália	235000	20	240
Argentina	100000	10	125
Nova Zelândia	50000	65	350
Estados Unidos da América	30000	ND	328
Canadá	26000	25	173
Malásia	1100	0	7
Brasil	400	300	7
Austrália	514	112	10

Nd - Não disponível.

Fonte: IEA,1992

O gás natural tem sido tradicionalmente usado como um substituto de baixo preço para a gasolina ou gasóleo. Os países que procuram reduzir a dependência de petróleo importado têm estado muito activos na promoção do metano como combustível de veículo, particularmente os que têm as suas próprias reservas de gás natural. Em muitos casos, o gás natural usado em veículos tem recebido um tratamento fiscal favorável em comparação com a gasolina e gasóleo, a fim de encorajar o seu uso.

Os aspectos económicos continuam a ser a razão fundamental para as conversões, mas a utilização de gás natural é cada vez mais encarada como um modo de reduzir as emissões do veículo. Isto tem conduzido a um aumento da actividade de investigação, tanto no que respeita a conversões de motores existentes como em relação à produção de motores otimizados para funcionar exclusivamente com gás natural.

3.6.3.1 Veículos a gasolina convertidos

Os equipamentos de conversão "bi-fuel" tradicionais não permitem a exploração completa de todas as vantagens que o gás natural pode oferecer, como combustível de motor de combustão interna. As desvantagens incluem

⁷ OEM - Original equipment manufacturer (IEA, 1992).

⁸ Motores "bi-fuel" - Motores que podem queimar um combustível alternativo (por exemplo, gás natural) ou um combustível convencional (por exemplo gasolina ou gasóleo) mas não ambos simultaneamente (CANNON, 1993).

aproximadamente 10 % a 15 % de perda de potência máxima, reduzida eficiência do combustível e resultados de emissão piores que os ideais.

Contudo, a tecnologia de converter motores existentes a gasolina para gás natural tem-se desenvolvido bastante nos últimos anos. As conversões modernas são capazes de se adaptar a sistemas electrónicos de controle de motor. Os carburadores de gás ou misturadores estão a ser abandonados em favor de sistemas de injeção, similares aos utilizados em modernos motores a gasolina. Estes permitem um controle mais preciso do combustível, conduzindo a um resultado melhorado, economia de combustível e reduções nas emissões (IEA, 1992).

3.6.3.2 Veículos a gasóleo convertidos

Os motores a gasóleo convertidos para funcionar com gás natural são muito menos comuns que os motores a gasolina convertidos, sendo o número mundial estimado, em 1992, inferior a 1000. No entanto, espera-se que cresça substancialmente no futuro. Quase todos os fabricantes de motores "Diesel" têm fabricado motores para camião ou autocarro a gás natural.

A importância do uso de gás natural como substituição ou extensão do combustível gasóleo é largamente reconhecida, estando muitos tipos de conversão a ser testados em veículos ligeiros e pesados. Está também a ser empreendida a tarefa de recolher dados de operação de longo prazo.

Algumas das instituições de investigação mundiais sobre motores estão envolvidas em programas de larga escala investigando todos os aspectos de "performance" do motor e redução de emissões (IEA, 1992).

3.6.3.3 Veículos desenhados para uso de gás natural

O crescente interesse dos fabricantes pelo fornecimento de motores a gás natural como equipamento original faz aumentar a possibilidade de expansão do sector NGV, pois a produção de veículos equipados originalmente para uso de gás natural é mais atractiva para os compradores futuros.

Um motor que é desenhado especificamente para operar com gás natural pode dar a mesma potência e "performance" que um motor a gasolina, com melhor eficiência de combustível e vantagens em níveis das emissões de escape. A injeção de gás de alta pressão, similar à injeção de gasóleo, tem sido testada com sucesso (IEA, 1992).

Neste campo, os refinamentos tecnológicos têm dado fruto, com os motores a GNC produzidos pelas empresas Caterpillar nos Estados Unidos, MAN e Mercedes na Alemanha, Fiba Cuning Ontario Bus Industries e Cummins no Canadá e Iveco na Itália.

3.6.3.4 Veículos a gás natural liquefeito

Muito pouco trabalho tem sido feito no desenvolvimento de veículos a gás natural liquefeito (GNL), dado que a difusão geral do seu uso não é viável devido às complicações envolvidas no fabrico, distribuição e armazenamento do GNL. Porém, deverá ser encorajado mais trabalho sobre veículos pesados movidos a GNL (IEA, 1992).

3.6.4 Barreiras técnicas e institucionais

Apesar de existirem incentivos económicos, um conjunto de limitações tem muitas vezes, evitado que o gás natural tenha grandes penetrações no mercado de veículos.

De facto, existem barreiras técnicas e institucionais que podem actuar contra a expansão do gás natural no sector dos transportes rodoviários. As principais barreiras que impedem o desenvolvimento do gás natural como combustível de veículos incluem a limitada autonomia de operação, a escassez de estações de abastecimento e apoios de serviços, a falta de disponibilidade de veículos de linha de produção de fabricantes reconhecidos, a variação na composição do gás e a inconsistência dos regulamentos aplicáveis.

A introdução de aplicações individuais de reabastecimento de baixo custo que podem ser ligadas a um fornecimento de gás doméstico está a ajudar a resolver o problema da limitada disponibilidade de combustível.

A natureza e escala da alteração social e industrial requerida para trazer um número significativo de veículos a gás natural para serviço significa que será essencial a continuação do apoio e assistência do governo. Têm sido empregues, no passado, várias formas de subsídio, incluindo benefícios fiscais, abatimentos nos custos de conversão e aquisições de frotas de veículos pelo governo. A natureza exacta do apoio requerido depende das circunstâncias nacionais.

O apoio para a expansão das redes de abastecimento de combustível é particularmente necessário devido aos elevados níveis de investimento em capital envolvidos (IEA, 1992).

De acordo com a Agência Internacional de Energia, será necessária uma investigação no que respeita à tecnologia de motor e de veículo, sendo a principal preocupação a de produzir motores e veículos que sejam especificamente desenhados para operar com gás natural. Outros aspectos que deverão ser estudados são:

- Efeitos da composição do gás natural sobre a "performance" do motor e emissões de escape;
- Uso de biogás como combustível de veículo;
- Sistemas de controle do motor e da mistura ar/combustível;
- Estratégias de combustão e "design" da câmara de combustão;
- Controle catalítico das emissões de escape;
- Cilindros de armazenamento de combustível mais leves.

Os fabricantes de equipamento original deverão ser encorajados no sentido do desenvolvimento de veículos e motores otimizados, pois para além de serem os especialistas e terem os recursos necessários para as tarefas que deverão ser empreendidas, poderão fornecer um grau de credibilidade ao conceito de NGV que não poderá nunca ser obtido através de conversões feitas em veículos depois de adquiridos. Contudo, os fabricantes necessitam de ser convencidos de que existe um mercado para novos produtos a fim de poderem investir os seus recursos.

Os governos poderão encorajar a actividade de NGV através da cooperação na padronização de códigos de segurança e regulamentos de emissões, o que fará diminuir o trabalho de ter de produzir motores e equipamentos de conversão para diferentes especificações, com os consequentes aumentos no custo unitário. Uma actividade fortemente relacionada é a criação de programas educacionais e de formação para o serviço e manutenção do NGV.

Cada país ou região que pretenda introduzir um programa de NGV terá de fazer a sua própria análise racional para saber se deverá usar um novo combustível de veículo. Existe, porém, uma grande necessidade de discussão sobre este assunto, esperando-se que a Associação Internacional para os Veículos a Gás Natural (IANGV) tenha um papel importante na promoção dessa discussão e na divulgação de informação.

Em cada situação, as consequências estratégicas, económicas, técnicas e ambientais devem ser avaliadas antes que qualquer decisão seja tomada. Não se poderá afirmar que os combustíveis gasosos dominarão o mercado dos combustíveis alternativos, mas que com outras escolhas de combustíveis alternativos, o seu uso aumentará em relação aos combustíveis convencionais.

Segundo BASSI(1993), a análise das vantagens e desvantagens do gás natural como combustível de veículos a motor e das oportunidades e problemas leva a que se devam considerar os seguintes aspectos:

- Determinação das vantagens económicas efectivas do gás natural como combustível de veículo a motor para os utilizadores potenciais (de acordo com a situação nacional particular);
- Aumento dos esforços técnicos feitos pelos fabricantes no sentido de melhorar os benefícios ambientais do gás natural como combustível de veículo;
- Difusão e desenvolvimento das estações de abastecimento e aumento da procura dos compradores;
- Estabelecimento de padrões e certificação da composição e propriedades do gás natural como combustível de motor;
- Estabelecimento de padrões e programas de certificação para os equipamentos de NGV (como forma de garantir uma maior segurança).

3.6.5 Condições para o desenvolvimento

Existe uma oportunidade para o gás natural como combustível de veículo, mas o seu desenvolvimento depende da satisfação de um conjunto de condições. Em

termos de procura, o utilizador final, seja público ou privado, requer padrões de serviço respeitantes à acessibilidade, segurança e resultados que sejam comparáveis aos dos outros combustíveis. A economia do uso do veículo a gás natural deve também justificar o custo inicial de conversão e a construção de estações de abastecimento bem como compensar quaisquer restrições que o sistema ainda imponha aos utilizadores.

Para satisfazer pelo menos algumas destas condições, a indústria de gás tem um importante papel a desempenhar, garantindo a disponibilidade do combustível e a acessibilidade às redes. Esta situação poderá ser alcançada em qualquer parte onde o gás natural tenha atingido um nível de difusão suficientemente elevado, servindo os mercados "tradicionais" dos sectores industrial, residencial e comercial.

A presença nestes sectores de procura ainda não saturada pode levar a indústria do gás a não considerar prioritária a necessidade de acção numa grande escala num sector fora da sua tradicional área de operações.

Os fabricantes de veículos e de componentes têm uma contribuição a dar na satisfação das necessidades de consumo, com os necessários níveis de serviço relacionados com o gás natural como combustível de veículo. Os produtores de veículos, em particular, podem produzir NGV exclusivos para este combustível, permitindo níveis de "performance" comparáveis aos dos veículos tradicionais, sem o inconveniente de fazer conversões.

Não é provável que o utilizador final sinta a necessidade de combustíveis mais limpos a não ser que estes permitam níveis de serviço e custos mais ou menos idênticos aos outros combustíveis, mais poluentes.

A indústria de gás, tem sido tradicionalmente sensível às preocupações ambientais e às oportunidades relacionadas com elas, investigando normalmente tecnologias mais "limpas", mas as qualidades ambientais do gás natural não são suficientes para encorajar intervenções de larga escala, devido ao quadro geral incerto e às limitadas oportunidades comerciais que o sector oferece correntemente (BRANDA, 1992).

3.7 Estudos de avaliação económica de NGV

3.7.1 Estudos Canadianos

Em 1991 o "Canadian Energy Research Institute" (CERI) preparou um relatório examinando a viabilidade do gás natural num conjunto de tipos de aplicações. Nessa altura, o diferencial de preço entre o gás natural e a gasolina variava nacionalmente entre Cdn\$0.29 na costa ocidental e Cdn\$0.19 em Quebec, numa base de energia equivalente por litro. Este diferencial incluía impostos sobre combustível federais e provinciais entre Cdn\$0.16 e Cdn\$0.20 por litro aplicados à gasolina. O custo de estações de abastecimento e conversões de veículo era, por outro lado,

geralmente o mesmo em todo o país. Por consequência, quanto maior fosse o diferencial de preço mais atractiva se tornaria a opção gás natural.

O quadro seguinte resume o benefício líquido para o conjunto de custos de conversão considerados. O CERI utilizou cenários base, optimista e pessimista para os custos de conversão e considerou um diferencial do preço do gás natural em relação à gasolina de Cdn\$0.25 por litro equivalente (Cdn\$7.10/GJ). O diferencial de preço considerado entre o gasóleo e o gás natural é mais baixo porque cada litro de gasóleo tem mais conteúdo energético que a gasolina e é taxado a uma taxa mais baixa.

De acordo com o estudo efectuado, é muito difícil, no Canadá, justificar economicamente a conversão de veículos ligeiros privados. Contudo, veículos similares em operação de frota com um uso anual de combustível mais elevado oferecem benefícios mais atractivos. Em veículos pesados tais como autocarros, a viabilidade é conduzida pelos custos de conversão. Se um motor pesado for substituído por um motor a gasolina convertido para uso de gás natural e os custos de conversão forem relativamente baixos, os veículos de frota oferecem excelentes períodos de retorno.

QUADRO 3.3 - Poupanças de combustível de veículos convertidos para gás natural

	Considerações			Custos de Conversão (Cdn\$)			Poupanças de combustível (Cdn\$)	Benefício líquido (Cdn\$)		
	L/100 Km	Km/ano	Vida (anos)	Optimista	Base	Pessimista	Actualizado 10 %	Optimista	Base	Pessimista
Veículos Ligeiros Pessoais	12.5	20 000	5	2 200	2 800	3 200	2 485	285	-715	-715
Veículos Ligeiros de Frota	12.5	75 000	5	2 200	2 800	3 200	9 318	7 118	6 518	6 118
Veículos Pesados (> 3 875.6 kg)	35	40 000	7	3 200	3 700	4 200	10 723	7 523	7 023	6 253
Veículos Pesados (aprox. 47000 kg)	46	70 000	7	20 000	22 500	25 000	24 662	4 662	2 162	-337
Autocarros Urbanos	53	50 000	16	20 000	35 000	50 000	32 617	12 617	-2 383	-17 383

Fonte: IEA, 1992.

Quando os motores a gasóleo pesados são convertidos para gás natural e quando devem ser armazenados grandes volumes de gás natural dentro dos veículos, o custo de conversão é crítico.

No Canadá, verificou-se nos últimos anos, um grande interesse pelas aplicações de autocarro para transporte urbano, tendo as contribuições económicas mais detalhadas sido feitas pelo governo de Ontario para frotas em Toronto, Hamilton e Mississauga.

A análise do custo do ciclo de vida de autocarros para transporte urbano em Ontario baseou-se na tecnologia corrente e nos preços de combustível de 1989 para o gás natural e gasóleo. O estudo assumiu um custo de capital adicional de Cdn\$35 000 para um autocarro, uma frota de 250 veículos com uma única estação compressora "fast-fill" e custos de combustível de Cdn\$0.135/m³ (Cdn\$3.70/GJ) para o gás natural, Cdn\$0.37/litro (Cdn\$10.20/GJ) para o gasóleo corrente e Cdn\$0.46/litro (Cdn\$12.70/GJ) para o futuro gasóleo sem enxofre. O combustível sem enxofre será necessário no futuro para respeitar os novos regulamentos de emissões. Por outro lado, os motores "Diesel" necessitarão provavelmente de usar armadilhas para

partículas e/ou catalisadores de oxidação. Assim, a futura tecnologia "limpa" de gásóleo será mais dispendiosa.

O estudo concluiu que com a estrutura de impostos existente, custaria Cdn\$0.20/100 Km menos durante a vida do autocarro a operar com gás natural quando comparado com o gásóleo. Previa-se que o autocarro a gásóleo "limpo" custasse cerca de Cdn\$7.60/100 Km mais para operar que os autocarros "Diesel" correntes na altura. Se a estrutura de impostos fosse alterada para tratar os combustíveis igualmente, o gás natural custaria cerca de Cdn\$5.20/100 Km mais para operar durante o ciclo de vida do veículo quando comparado com o autocarro "Diesel" corrente. Segundo a estrutura de impostos revista, estimou-se que o autocarro "Diesel" "limpo" custasse cerca de Cdn\$7.10/100 Km mais que o autocarro "Diesel" corrente para operar.

Os custos do ciclo de vida para o gás natural, não incluíram o impacto potencial da redução da capacidade de transporte de passageiros dos autocarros NGV, que é o resultado do significativo inconveniente de peso imposto pelos cilindros de armazenamento de combustível. Com base nos autocarros urbanos típicos canadianos e na carga de passageiros permitida por eixo, a capacidade de um autocarro a gás natural seria reduzida em cerca de 16 % a 20 %, ou seja, 15 passageiros. Se os autocarros estivessem a funcionar com a capacidade total, isto poderia representar um significativo custo adicional para o gás natural dado que seriam necessários mais autocarros ou um eixo adicional para a mesma carga total de passageiros.

3.7.2 Estados Unidos da América

Nos Estados Unidos da América, segundo a Associação Americana de Gás o diferencial do preço do gás natural tem variado nos últimos anos entre \$0.12 e \$0.18 por litro equivalente de gasolina (\$3.60-5.50/GJ). Com um diferencial de \$0.18 por litro (\$5.50/GJ), é estimado um período de retorno para um veículo ligeiro de equipamento original (OEM) em menos de um ano, enquanto para veículos convertidos o período de retorno estimado se situa entre dois e quatro anos, sem os custos de infra-estruturas.

A Agência para a Protecção do Ambiente (EPA⁹) dos Estados Unidos da América efectuou uma análise dos efeitos económicos e ambientais do gás natural comprimido (GNC) como combustível para veículos ligeiros e pesados.

No estudo da EPA é feita uma análise sobre o estabelecimento do preço do gás natural para uso em veículos ligeiros, sendo analisados todos os factores que determinam o preço de retalho do gás natural: produção e refinação, transporte e distribuição, construção da estação de abastecimento e operações, mercado e impostos.

Com base nestes factores a EPA calcula os preços de energia equivalente de gasolina e gás natural de várias situações alternativas baseadas na quantidade de combustível a ser distribuído por estação de abastecimento. São projectados dois

⁹ EPA - Environmental Protection Agency

preços de gás natural alternativos baseados na fonte de energia usada para fazer funcionar o compressor da estação de reabastecimento.

O quadro que se segue apresenta valores que foram objecto de uma generalização para adequar a situação global nos Estados Unidos da América e que resultam num diferencial de preço de \$0.08 por litro equivalente (\$2.40/GJ), que é substancialmente menor que o diferencial de \$0.16 a \$0.24 (\$4.80 - \$7.30/GJ) existente no Canadá. No caso do pior cenário, o preço do gás natural é \$0.05 por litro (\$1.50/GJ) maior que o preço da gasolina.

QUADRO 3.4 - Comparação do preço da gasolina e da energia equivalente de GNC (\$US e litro equivalente de gasolina, EPA, Estados Unidos da América)

Gás Natural Comprimido			
	Gasolina	Compressão eléctrica	Compressão com GNC
Extracção e refinação	\$0.184	-	-
Gás Natural distribuído à estação de serviço		\$0.08/0.14/0.18*	\$0.08/0.14/0.18*
Distribuição de longa distância e local	\$0.016		
Custo da estação de serviço capitalizado		\$0.01-0.03	\$0.02-0.03
Despesas de operação		\$0.02	\$0.005-0.01
Despesas gerais e de manutenção		\$0.005-0.018	\$0.008-0.021
Mercado da estação de serviço	\$0.02	\$0.02	\$0.02
Impostos	\$0.06	\$0.06	\$0.06
TOTAL	\$0.28	\$0.20/0.28/0.33*	\$0.20/0.28/0.33*

* Os três valores representam para as estações de bombear o equivalente a aproximadamente 2.0, 2.5 e 2.8 milhões de litros de gasolina anualmente.
Fonte: IEA, 1992.

Assumindo o melhor caso de cenário, um carro de passageiros andando 20 000 km anualmente, com um consumo de combustível de 12 litros/100 Km necessitará de 15 anos para recuperar os custos de conversão. O custo de conversão é assumido ser a média das estimativas feitas pela EPA (\$2600-\$3300). No caso de um veículo ligeiro de mercadorias numa operação de frota, o período de retorno ocorreria em quatro anos, considerando um consumo de combustível de 12 l/100 Km, uma quilometragem anual de 75 000 Km e os custos de conversão médios da EPA.

A EPA estimou também os custos de \$1600 para veículos "dual fuel" e \$900 para veículos ligeiros para uso exclusivo de gás natural, de fabrico original e produção em massa. Se estes custos forem substituídos nos exemplos anteriores, os períodos de retorno são reduzidos para oito e cinco anos respectivamente para o carro privado de passageiros e para dois e um ano respectivamente o veículo ligeiro de mercadorias.

Estes resultados indicam que os NGV ligeiros podem ser economicamente viáveis nos Estados Unidos da América em aplicações onde existem veículos com um elevado consumo de combustível ou muito baixos custos de conversão ou de aquisição. As conversões podem também ser economicamente viáveis em estados específicos ou comunidades onde as reduções de impostos, legislação ambiental, abatimentos e subsídios fazem aumentar a atractividade financeira do gás natural.

Na análise da EPA sobre veículos pesados, chegou-se à conclusão que um motor a GNC de combustão estequiométrica oferece poupanças significativas de custos de combustível em relação a um equivalente motor a gasolina. A economia de combustível de substituir um motor "Diesel" por um motor para uso exclusivo de GNC não é tão boa, especialmente com a tecnologia corrente de GNC. Isto já era de esperar, pelo facto de que os motores "Diesel" já representam uma forma muito eficiente de consumo de combustível e pelo custo relativamente baixo do gásóleo comparado com a gasolina.

A comparação do custo de combustível da EPA incluiu o preço do gás natural, bem como os custos de distribuição, capital de compressão e operação. A EPA conclui também que a única área onde se espera aumentar o custo de veículos GNC pesados para um grau significativo é a do armazenamento de combustível. O aumento de custo líquido (custo dos cilindros de armazenamento de combustível menos o custo dos reservatórios de gásóleo não necessários) é estimado estar entre \$1990 e \$9900, dependendo do tipo de instalação e do número de cilindros. Os elevados custos finais são definidos para um veículo, e representam um aumento no custo do veículo de cerca de 5 %. A EPA menciona também que o inconveniente de peso e dimensão de necessidades de grande armazenamento podem dificultar algumas aplicações, podendo este inconveniente ser significativo.

Estas conclusões para veículos pesados diferem das dos estudos canadianos ilustrando diferenças nos custos de combustível e estrutura de impostos. Deve notar-se também que a EPA não apresenta qualquer aumento nos preços do gásóleo que são previstos para gásóleos de baixo teor de enxofre necessários para respeitar novos regulamentos de emissões.

QUADRO 3.5 - Comparação de custos de combustível de veículos pesados

Custos de combustível do veículo (por litro equivalente de energia)		
Comparação com a Gasolina		
	Corrente	Optimizado (futuro)
Gasolina:	\$0.29	-
GNC estaquiométrico:	\$0.18-\$0.30	\$0.17-\$0.29
Comparação com o Gásóleo		
Gasóleo	\$0.25	-
Combustão pobre de GNC	\$0.32-\$0.54	\$0.28-\$0.48

Fonte: IEA, 1992.

3.7.3 Estudos do Banco Mundial

O Banco Mundial está envolvido na procura da viabilidade económica de combustíveis alternativos em países em desenvolvimento. A sua análise da viabilidade económica do gás natural é de particular interesse dado que existe uma preocupação com a economia numa escala mundial. Apesar do seu trabalho estar orientado para a realidade do mundo em desenvolvimento, as suas considerações de custos e tecnologia

baseiam-se na experiência dos principais países industriais que têm frotas de NGV a funcionar.

O Banco Mundial tem também tentado ultrapassar a complexidade que caracteriza a contribuição económica das conversões de veículos a gás natural através do desenvolvimento de um número limitado de cenários de frota baseados nos preços do petróleo e do gás natural à entrada da cidade. Num documento apresentado na "Gaseous Fuels Conference" realizada em Vancouver em 1986, o Banco introduziu um modelo que examinava oito cenários de frota possíveis. Os oito cenários representam aplicações desde automóveis ligeiros até camiões pesados e autocarros. A gama dos cenários incluía também uma variedade de opções de reabastecimento adequadas às particularidades da frota.

QUADRO 3.6 - Considerações do Modelo Económico do Banco Mundial

	Custo de Conversão US\$	Uso anual de combustível em litros
Carro a gasolina privado	1.010	1.474
Carro a gasolina de frota	1.010	2.720
Táxi (a gasóleo)	1.775	6.825
Camioneta "pick up" (a gasóleo)	1.620	4.808
Camioneta de 20 Ton. (a gasóleo)	2.670	15.075
Mini-autocarro (a gasóleo)	2.085	12.167
Autocarro de cidade (a gasóleo)	2.265	22.344
Autocarro intercity (a gasóleo)	3.150	24.083

Fonte: IEA, 1992.

O modelo considera também preços do petróleo bruto de US\$10-US\$25 por barril e preços do gás natural de cerca de \$1.25/GJ, excluindo todos os impostos. Este valor, apesar de baseado em níveis de preços de 1986 estava ainda próximo do custo do gás natural em 1991 nos Estados Unidos da América. Os custos de conversão referidos no estudo eram baixos pelos padrões correntes e eram mais representativos em 1992 do diferencial de preço esperado para um NGV de produção original.

Num estudo mais recente, o Banco Mundial analisou o preço do petróleo bruto que seria necessário para tornar o gás natural um combustível economicamente alternativo. Neste estudo, o Banco assume custos de conversão entre \$1 000 e \$4 500 dependendo do tipo de veículo. O Banco Mundial concluiu que em 1992 o GNC não seria competitivo em carros com preços do petróleo bruto inferiores a \$45 por barril, com preços do gás à saída da poço de cerca de \$1/GJ e pequenos gasodutos de transmissão. As aplicações mais prometedoras são de transporte público (táxis e autocarros) onde o gás está disponível localmente e são usados sistemas "slow-fill".

QUADRO 3.7 - Análise do Banco Mundial: Preço do Petróleo Bruto de Transição (US\$/bbl) com um preço do gás de US\$1/GJ

	Transmissão "Fast-Fill"		Transmissão "Slow-Fill"	
Veículos	Local	Distante	Local	Distante
Carros	45	55	36	46
Táxis	27	36	18	28
Camiónes	44	54	35	45
Autocarros	27	38	18	29

Fonte: IEA, 1992.

Apesar destes resultados poderão existir situações individuais onde o gás natural possa ser financeiramente viável. Variações regionais, tais como reduções nos impostos, concessão de subsídios, regulamentos ambientais ou a disponibilidade de gás natural de mais baixo custo podem ter um grande impacto sobre a viabilidade deste combustível (IEA, 1992).

3.7.4 Estudos da Agência Internacional de Energia

A Agência Internacional de Energia preparou e utilizou, em 1992, um modelo analítico para ilustrar a relação entre os principais factores na viabilidade económica e financeira dos NGV. Estes principais factores de custo incluem:

- O diferencial de preço entre o gás natural e a gasolina, ou gasóleo, quando distribuídos ao veículo;
- Os custos extra de conversões após aquisição, ou custos incrementais de novos veículos equipados para operar com gás natural;
- A distância anual percorrida por veículo e, por consequência, o combustível consumido;
- O tipo de estação de abastecimento que é usada;
- O impacto dos impostos sobre combustível.

As considerações foram simplificadas tanto quanto possível para mostrar a relação entre estas variáveis. O modelo foi também utilizado para indicar aplicações de veículo e regiões geográficas para os quais o gás natural seria economicamente viável.

O modelo utilizou uma análise de cash-flow actualizado, tendo sido usada uma taxa de actualização de 5 %, para que os resultados fossem apresentados em termos reais. A taxa de inflação era de 10 %. O modelo foi utilizado para determinar o preço do gás natural que seria necessário para permitir um valor líquido actual superior a zero, indicando, assim, viabilidade económica.

O preço do gás natural resultante foi depois comparado com os preços previstos para a América do Norte, Japão e Europa. O preço do gás natural refere-se ao preço do gás fornecido à estação de abastecimento antes do manuseamento e compressão. Os factores de custo para a estação de abastecimento incluem custos de compressão, manutenção, operação e financiamento. O governo de Ontário estimou, em 1991, estes custos em \$0.14 (\$3.87/GJ) por metro cúbico de gás natural. Embora tenham sido feitas outras projecções por outras entidades, nesta análise foram usados estes custos, por questões de simplicidade.

Para os veículos ligeiros de passageiros, considerou-se que os veículos percorreriam 20000 km por ano, um período de vida de 6 anos e o uso de estações de abastecimento público. Foi admitido um cenário 1-a para a tecnologia de conversão "bi-fuel" correntemente disponível e um cenário 1-b projectado para o uso de tecnologia optimizada de equipamento original. Para os veículos ligeiros de frota, foram considerados 60000 km por ano, um período de vida de 5 anos e outras considerações, entre as quais os cenários 1-a e 1-b, como na situação anterior.

Em relação aos veículos ligeiros, concluiu-se que, em 1992, os NGV, usando a tecnologia corrente "bi-fuel" não são atractivos como veículos de passageiros de baixa quilometragem, a não ser que existam incentivos financeiros substanciais na forma de, por exemplo, poupanças nos impostos sobre combustíveis. Os NGV, assumindo que a tecnologia de equipamento original se encontra disponível, serão economicamente atractivos para preços de gás natural de cerca de \$0.12 por metro cúbico (\$3.30/GJ) distribuído à estação de abastecimento, mesmo excluindo os impostos sobre combustíveis.

Este cenário parecia possível na maior parte dos países da Agência Internacional de Energia, excepto, possivelmente, nos Estados Unidos da América, que tinha preços de gasolina muito baixos.

A viabilidade financeira e económica dos NGV aumenta quando a distância anual e o consumo de combustível aumenta, como no caso de aplicações de frota. Os veículos de frota de elevada quilometragem, fabricados com equipamento original, poderão ter resultados económicos positivos.

Para os veículos pesados, foi considerado um autocarro urbano em duas situações distintas: uma com reabastecimento "Fast-Fill" e outra com reabastecimento "Slow-Fill". No primeiro caso, são admitidos 60000 km por ano, 15 anos de vida, custo adicional de \$20000 por autocarro e \$23000 por autocarro para a estação de abastecimento "Fast-Fill". No segundo caso, são admitidos 60000 km por ano, 15 anos de vida, um custo adicional de \$20000 por autocarro e \$1500 por autocarro para custos da estação de abastecimento.

A Agência Internacional de Energia conclui, com base neste modelo, que a viabilidade do uso de gás natural é fortemente influenciada pelo tipo de infra-estrutura de investimento necessária. O gás natural para utilização em autocarros urbanos será economicamente atractivo se os custos da estação de abastecimento puderem ser minimizados. Se a tecnologia "Diesel" tiver de ser alterada, por forma a satisfazer os novos regulamentos de emissão, o gás natural poderá ser uma alternativa competitiva (IEA, 1992).

3.8. Algumas experiências internacionais de utilização de NGV

3.8.1 Introdução

O gás natural como combustível de veículo foi, inicialmente, desenvolvido na Itália e tem-se espalhado por mais de 40 países onde fornece energia a veículos ligeiros privados e a frotas de autocarros públicos. Porém, o impulso mais recente na conversão para GNC tem sido dado, em especial, na Nova Zelândia e Canadá e em certa medida nos Estados Unidos.

As maiores populações de NGV encontram-se em Itália e nos ex Estados Soviéticos. A Nova Zelândia, a Argentina, o Canadá e os Estados Unidos da América têm também, cada um, grandes quantidades de veículos a gás natural em operação.

Muitos países que possuem frotas relativamente pequenas têm, apesar disso, anunciado programas de larga escala para o futuro desenvolvimento dos seus próprios NGV, como por exemplo a Argentina (futuro programa para 135000 NGV), Indonésia (100000), Tailândia (50000) e Paquistão (21000).

3.8.2 Itália

A Itália é o país que, neste campo, tem tido maior experiência. No início dos anos 40, o período em que a SNAM¹⁰ foi fundada, os primeiros fornecimentos de gás natural (alguns milhões de metros cúbicos) foram devotados quase inteiramente para os NGV. A razão para isto foi a disponibilidade deste combustível em Itália numa altura em que outros combustíveis eram difíceis de obter devido à guerra.

Graças às adaptações feitas aos veículos e à construção de estações de compressão para os abastecer, o gás natural podia dar uma contribuição para as modestas necessidades de transporte dessa altura. Contudo, a crescente disponibilidade de produtos de petróleo do início dos anos 50 encorajou o uso de combustíveis líquidos em veículos.

O choque petrolífero de 1973 criou uma nova razão para o uso de gás natural no sector dos transportes, nomeadamente devido ao substancial benefício económico que podia ser ganho pelo utilizador, dado que tinha uma vantagem de preço sobre outros combustíveis. Como resultado, os fornecimentos de gás natural para veículos atingiram, em 1976, cerca de 350 milhões de metros cúbicos.

Os crescentes padrões de vida tiveram o efeito de reduzir o desejo das pessoas de usar um combustível que, apesar de barato, tinha dificuldades em ser usado e fornecido e esta foi, indubitavelmente, a principal razão pela qual a procura corrente caiu para cerca de 250 milhões de metros cúbicos por ano, ou 0,6 % do total de consumo de combustíveis de veículo em Itália. Em 1992, estavam na estrada cerca de 250000 veículos a gás natural (cerca de 1.1 % do número total de veículos), sendo quase todos eles para uso privado.

Das iniciativas existentes em Itália, merecem referência as de Ravenna, Udine, Florença e Trento, no campo dos transportes públicos, e as da SNAM em Milão, ASM na Brescia, Italgas, Turin e Roma no que respeita a companhias de frotas de veículos operando principalmente em áreas urbanas (BRANDA, 1992).

A SNAM é uma das companhias com uma experiência mais significativa no campo das frotas de veículos ligeiros, tendo convertido mais de 500 veículos em pouco mais de três anos, com uma distância percorrida de mais de 12 milhões de quilómetros.

Em 1950, 6 % dos automóveis e 2 % dos camiões e autocarros funcionavam em Itália a gás natural. Existiam cerca de 1500 estações de reabastecimento e numerosos fornecedores de equipamento de conversão, compressão e armazenamento, que se tornaram fabricantes mundiais de tecnologia de NGV. Nem todas as estações de

¹⁰Indústria automóvel.

abastecimento tinham compressores. Muitas eram apenas pontos de troca de cilindros, já que um método popular de reabastecimento, nessa altura, era remover fisicamente o cilindro vazio do veículo e trocá-lo por um cheio, tal como é hoje, por vezes, feito com veículos e equipamento a GPL (Gases de petróleo liquefeitos).

3.8.3 Estados Unidos da América

Nos Estados Unidos da América, em sequência da utilização de combustíveis tradicionais nos transportes, a crescente gravidade dos problemas de poluição atmosférica em muitas cidades, combinada com necessidades de reduzir a dependência do petróleo importado, têm conduzido a uma reavaliação das opções de combustível de transporte.

O crescimento do tráfego rodoviário tem forçado a tomada de certas medidas para contrariar a deterioração na qualidade do ar. É geralmente aceite que os padrões de emissão de escape mais rigorosos são os dos Estados Unidos especialmente, os da Califórnia.

Com uma longa história de legislação cada vez mais rigorosa muitas emissões poluentes foram controladas em 90 a 95 % durante um período de 23 anos. Apesar destes esforços, principalmente devido a aumentos inesperados no transporte rodoviário verifica-se ainda que mais de 50 % da população dos Estados Unidos vive em regiões onde a qualidade do ar excede regularmente os padrões admitidos (NAAQS¹¹). Considerou-se que o "Clean Air Act" de 1970 (uma lei ambiental desenvolvida para melhorar a qualidade do ar nos Estados Unidos) era insuficientemente eficiente e, como resultado, tiveram de ser tomadas medidas mais rigorosas expressos no "Clean Air Act Amendment" de 1990.

O "Clean Air Act Amendment" impõe a introdução específica de veículos de combustíveis alternativos (AFVs¹²) em frotas, como uma solução para a poluição urbana.

Todos os anos a qualidade do ar em áreas metropolitanas é medida em todo o país em comparação com os padrões nacionais de qualidade do ar (NAAQS). A Agência para a Proteção do Ambiente (EPA) ordena as cidades de acordo com a gravidade da sua poluição, sendo dois dos poluentes controlados o ozono e o monóxido de carbono.

O "Clean Air Act" define como "combustíveis limpos" o gás natural, o etanol, o metanol ou outros álcoois, misturas contendo 85 % ou mais de metanol, etanol e outros álcoois, gasolina e gasóleo reformulados, propano, electricidade e hidrogénio.

Os Estados Unidos da América são agora um dos mercados mais activos na conversão de veículos para GNC, estando um dos maiores programas a ser empreendido em Denver, Colorado, uma área que espera ter mais de 20000 veículos convertidos para GNC por volta de 1996. A companhia local de distribuição de

¹¹ NAAQS - National Ambient Air Quality Standards (HEATON, D.; VAN DER WEITE, J., 1993).

¹² AFVs - Alternative Fuel Vehicles (HEATON, D.; VAN DER WEITE, J., 1993).

gás, Companhia de Serviço Público de Colorado, está a desenvolver o sistema de reabastecimento necessário a fim de encorajar as conversões para GNC.

Existem dois factores cruciais que colocam o programa de GNC de Denver à parte dos outros. O primeiro é a disponibilidade de abastecimento de gás a baixo custo e o segundo é o facto de o estabelecimento do preço de GNC não estar sob a jurisdição das agências reguladoras locais. A área das Montanhas Rochosas, é uma fonte de reservas significativas de gás, e uma vez que não existe grande mercado local, os preços do gás estão entre os mais baixos dos Estados Unidos.

Mais de 30000 veículos a gás natural estavam, em 1992, a operar nos Estados Unidos da América. A Ford, a Chrysler e a General Motors são as empresas mais activas neste campo. Outros fabricantes que fornecem o mercado dos Estados Unidos estão a desenvolver veículos, mas não têm anunciado planos de produção nem de "Marketing". As companhias de gás estão a promover a expansão do mercado fornecendo facilidades aos fabricantes para desenvolver os NGV.

A maior parte dos camiões, são adquiridos por companhias de gás natural para uso nas suas próprias frotas. Certos corpos do governo, tais como o "South Coast Air Quality Management District" na Califórnia, ficam também com alguns deles para fins de avaliação. Espera-se que com os "Clean Air Amendments" de 1990 contribuam para o aumento, no futuro, das vendas no sector da frota comercial (IEA, 1992).

Estima-se que os cerca de 30000 veículos a gás natural a operar, actualmente, nos Estados Unidos da América consumam três biliões de pés cúbicos de gás por ano (EQUITABLE GAS, 1994).

3.8.4 Canadá

Cerca de 26000 veículos canadianos tinham sido convertidos, até 1992, para operar com gás natural. O quadro seguinte mostra a distribuição por provincia e o número de estações de abastecimento disponíveis.

O Canadá possui grandes reservas de gás natural, tendo a "Consumers Gas" começado a desenvolver NGV em 1983, convertendo correntemente mais de 100 veículos por mês. Existiam, em 1992, cerca de 4000 NGV na área de Toronto, 20 estações de abastecimento público para os servir, sendo também concedidas facilidades aos consumidores no aluguer de utensilios/ferramentas para abastecimento doméstico.

Os programas de conversão no Canadá foram desacelerados em 1991, devido a uma escassez de cilindros de armazenamento. Em 1992 apenas os cilindros de aço eram aprovados para uso em veículos.

QUADRO 3.8 - Veículos a gás natural no Canadá

Província	Veículos Convertidos	Estações de Abastecimento Públicas	Estações de Abastecimento Privadas
British Columbia	10975	46	6
Alberta	656	1	19
Saskatchewan	16	0	1
Manitoba	69	0	2
Ontario	9675	43	17
Quebec	4680	21	5
Total	26071	111	50

Fonte: IEA, 1992.

A maior parte das comunidades canadianas de qualquer dimensão são servidas por um gasoduto de gás natural, sendo uma elevada proporção de casas canadianas aquecidas por gás natural. Esta situação permite uma grande oportunidade para a promoção de aplicações de reabastecimento doméstico, que têm sido vendidas por companhias regionais de gás.

Estas aplicações de reabastecimento são muito práticas para pequenas frotas bem como para o consumidor doméstico, podendo também fornecer um excelente modo para uma frota de qualquer dimensão testar alguns veículos a gás natural sem efectuar a despesa em capital associada à estação compressora de larga escala (IEA, 1992).

3.8.5 Grã-Bretanha

A "British Gas" tem estado interessada nesta área há já algum tempo. Mas com a sua recente aquisição da "Consumers Gas", uma companhia canadiada com mais de oito anos de experiência em veículos a gás natural, está a intensificar a sua investigação e a fazer mais trabalhos neste campo.

Vários veículos diferentes passam, correntemente, por experiências e trabalhos de desenvolvimento e são usados para demonstrar as qualidades e potencial dos NGV, estando três estações de investigação da "British Gas" a trabalhar em vários aspectos da tecnologia de novos veículos, incluindo testes em cilindros de alta pressão, técnicas de armazenamento a baixa pressão, facilidades de abastecimento, "performance" do motor e níveis de emissão.

A "British Gas" está também a trabalhar com o Departamento de Transportes para delinear os novos padrões e regulamentos para o uso alargado de NGV. Correntemente, cada veículo está sujeito a uma autorização oficial individual, sendo necessária uma infra-estrutura para produzir e instalar equipamento de conversão.

Estas considerações devem ser feitas antes que este novo combustível esteja disponível para operadores de frotas comerciais e, subsequentemente, motoristas privados. Ao mesmo tempo, estão a ser feitos esforços para convencer o governo britânico e a Comunidade Económica a encorajar as pessoas a usar este combustível.

A "British Gas" começou a converter parte da sua frota de veículos para obter experiência prática de uso de gás natural nos transportes. A primeira estação de

abastecimento para estes veículos abriu em Old Kent Road, em Londres, em Maio de 1991.

Estão a ser conduzidos estudos no sentido de converter o táxi tradicional de Londres para GNC.

3.8.6 Holanda

A Holanda começou apenas uma investigação séria sobre veículos a gás natural há cerca de dez anos atrás. O país tem grandes reservas de gás natural e tem tido durante muitos anos uma rede de oferta atingindo mais de 90 % dos seus habitantes. A Holanda tem aproximadamente 700000 veículos a GPL em operação.

A GNC, a principal companhia de gás e a TNO, uma importante organização de investigação sobre motores, têm conjuntamente empreendido trabalho de desenvolvimento e de promoção do NGV. Em 1991 estavam em serviço aproximadamente 150 veículos ligeiros com motores convertidos "bi-fuel".

Em comum com outros países, a Holanda está a procurar veículos "monofuel" logo que exista uma rede adequada de estações de abastecimento para os servir (IEA, 1992).

Nos anos 50, o GPL foi introduzido na Holanda como combustível de veículo, pois eram produzidas grandes quantidades de GPL como sub-produto nas refinarias de Roterdão. Através de medidas de natureza fiscal, o governo tornou atractivo o uso de GPL em automóveis, tendo a aplicação começado a ser realizada em frotas de veículos que podiam funcionar apenas com GPL, mas depressa se verificou que, com uma pobre infra-estrutura de estações de abastecimento, o crescimento da aplicação seria muito limitado. A partir dessa altura, os veículos foram convertidos de tal maneira que podiam usar também gasolina.

Ultimamente, a TNO alargou o trabalho a outros combustíveis alternativos, tais como gás natural e combustíveis de álcool.

O envolvimento desta instituição prende-se principalmente com o desenvolvimento de veículos de consumo óptimo de combustível e baixa emissão, principalmente em cooperação com a indústria automóvel. Estes sistemas de combustão gasosa poderão respeitar os muito rigorosos regulamentos futuros de emissão.

Há cerca de cinco anos a TNO começou a desenvolver um sistema especial de gestão do motor para motores a GPL e gás natural. Estes sistemas são agora comercializados pela "Deltec Fuel Systems" (motores estacionários e pesados) e pela "Necam" (motores ligeiros). O sistema de gestão de motor da TNO é principalmente baseado nos componentes "General Motors" com equipamento e métodos de calibração desenvolvidos pela própria TNO.

Quando a TNO começou a trabalhar com metanol foi aplicada a sua experiência inicial com o veículo GPL. Em 1967, a TNO começou a desenvolver os FFV's¹³ (VAN DER WEIDE, J.; SEPPEN, J., 1992).

No âmbito da estabilização das emissões de CO₂ do tráfego até ao ano 2000, foi realizada pela TNO uma previsão que aponta serem necessárias substanciais reduções no consumo de combustível, acompanhadas de restrições ao crescimento do parque de veículos (HEATON, D.; VAN DER WEITE, J., 1993). Em relação à introdução do gás natural, a Holanda planeia ter 1000 NGV na estrada em 1995 (IEA, 1992).

3.8.7 Nova Zelândia

A Nova Zelândia tem um grande número de veículos a gás natural nas suas estradas desde há 10 anos atrás. A cidade de Palmeston está a operar a maior parte da sua frota municipal de aproximadamente 250 veículos ligeiros, camiões e autocarros com gás natural desde 1980.

Na Nova Zelândia desenvolveu-se um considerável mercado para veículos a gás natural privados, o que permite grandes vantagens no que respeita a impostos sobre o combustível gás natural e conversões de veículos durante o período 1984 a 1986. Esta política foi dirigida para reduzir as importações de petróleo e aumentar o uso de grandes depósitos de gás natural. Em 1985, cerca de 10 % de veículos da Ilha do Norte estavam a funcionar com gás natural, e eram feitas 5000 conversões todos os meses. O número de veículos convertidos atingiu aproximadamente 110000. Em 1986 o governo tirou bruscamente todo o apoio financeiro e promocional para o programa de gás natural em resposta a uma necessidade urgente de reduzir as despesas públicas. O movimento do NGV declinou rapidamente, enfraquecido ainda mais pelos estáveis ou ligeiramente decrescentes preços da gasolina e crescentes preços do gás natural resultantes da renegociação dos principais contratos de oferta.

Os veículos a gás natural perderam a sua atracção e uma percentagem considerável do seu valor de revenda. Muitos proprietários removeram os equipamentos de conversão e voltaram a usar apenas gasolina. Por volta de 1989 o número de veículos convertidos tinha descido para cerca de 45000. A indústria de NGV estava, em 1992, a tentar "lutar contra a maré" insistindo que o custo do combustível gás natural estava ainda apenas em cerca de 65 % do da gasolina.

Contudo, os incentivos de capital para novas conversões de veículos e expansão da rede de estação de combustível desapareceram e toda a situação de mercado tem tido uma atmosfera de desconfiança e incerteza que não ajuda as tentativas de reverter o declínio e reestabelecer o crescimento do uso de NGV (IEA, 1992).

¹³FFV's - Flexible Fuel Vehicles (VAN DER WEIDE, J.; SEPPEN, J., 1992).

3.8.8 Argentina

A Argentina tem prosseguido uma política de encorajamento dos NGV desde 1984. As conversões de 86000, em 1990, foram muito além do valor planeado inicialmente, de 48500. O objectivo foi fixado em 134000 conversões e 270 estações de combustível em operação em 1995. As indicações correntes são de que este valor pode ser facilmente obtido.

O quadro seguinte mostra o crescimento da população de veículos a gás natural na Argentina desde 1985.

QUADRO 3.9 - Veículos a gás natural na Argentina

Ano	1985	1986	1987	1988	1989	1990
Veículos	2065	5442	13313	27565	47434	86000

Fonte: IEA, 1992.

O principal objectivo do programa de NGV é reduzir o uso de derivados do petróleo, mas o país está bem consciente dos potenciais benefícios de emissão e antecipa consideráveis melhorias na qualidade do ar como resultado do número crescente de veículos a gás natural.

A Argentina tem construído uma considerável indústria de fornecimento de equipamento de NGV, sendo 75 % dos cilindros de veículo fornecidos fabricados internamente. A maior parte das conversões efectuadas até 1992 são do tipo convencional "bi-fuel".

Alguns dos principais fabricantes europeus, incluindo a Fiat-Peugeot e Renault, fabricam grandes quantidades de veículos na Argentina. Ambas as empresas manifestaram a sua intenção de fabricar veículos a gás natural com equipamento original de fábrica num futuro próximo. Estes ainda serão "bi-fuel" (IEA, 1992).

3.8.9 Japão

Em 1990, existiam 29 veículos a gasolina convertidos no Japão, operados por companhias de gás de Tokyo, Osaka e Toho. No final de 1991, esperava-se que aproximadamente mais de 50 NGV estivessem em serviço, incluindo algumas conversões "monofuel".

Quatro estações "quick fill" e uma estação "slow-fill" estavam em uso, em 1992, e uma outra estava para ser construída em breve. Os regulamentos japoneses para todos os tipos de estações de reabastecimento de veículos são excepcionalmente rigorosos e a expansão da rede de abastecimento de gás natural em áreas urbanas é mais difícil que em outros países. O Ministério do Comércio Internacional e Indústria (MITI) e a Associação de Gás do Japão (JGA) começaram a elaborar, conjuntamente, um projecto de três anos para promover o uso de NGV no Japão.

O combustível gás natural é visto como um modo de reduzir a poluição urbana e existem planos de colocar, por volta do ano 2000, vários milhares de veículos em serviço (IEA, 1992).

3.8.10 Malásia

A Malásia empreendeu recentemente um programa comercial em Kuala Lumpur visando a conversão de 1100 veículos ligeiros principalmente táxis. O programa está a ser conduzido pela PETRONAS, a companhia de gás e petróleo de propriedade do Estado. Uma estação de reabastecimento principal e cinco estações subsidiárias estão envolvidas no programa (IEA, 1992).

3.8.11 Rússia e Estados do "Commonwealth"

Os Estados independentes do "Commonwealth" tinham, em 1992, cerca de 315000 NGV de todos os tipos em serviço. Os desenvolvimentos iniciais estiveram concentrados no Ukraine e regiões Volga, onde cerca de 25000 veículos convertidos estiveram em operação desde 1950. A população de NGV está-se a expandir a um ritmo constante.

Considera-se que os recentes eventos políticos não afectarão o programa e os planos correntes, de 1992, antecipavam perto de 2 milhões de veículos não muito depois do ano 2000. A Rússia contém cerca de metade das reservas de gás natural mundiais conhecidas e fornece grandes quantidades a vários países europeus através de uma extensiva rede de gasoduto. Dentro das suas próprias fronteiras, o gás é transportado para toda a Rússia Europeia e para grande parte dos Urais e Ásia Central. Em 1990, existiam 339 estações de reabastecimento de NGV em 242 cidades.

Têm sido feitas investigações sobre o problema da oferta em áreas remotas, que tem resultado num sistema de semi-reboques transportando gás com pressão até 300 bar. Estes são enchidos na estação compressora central e são depois transportados por estrada ou comboio para comunidades não abastecidas através de gasoduto, sendo também usados para nivelar os picos de procura e fornecer oferta de emergência, evitando assim a necessidade de uma maior capacidade compressora.

Cada unidade consiste num reservatório de armazenamento e equipamento de distribuição de gás. Podem ser usados individualmente ou ligados em cascata em localizações onde são necessários grandes volumes de gás.

A elevada pressão da carga permite uma distribuição até 70 % do gás armazenado dentro dos reservatórios do veículo, operando a 200 bar. Quando a pressão se torna demasiado baixa para encher os veículos o restante gás é frequentemente utilizado em sistemas domésticos ou industriais, que usam menores pressões.

Todo o equipamento necessário, incluindo o equipamento de conversão do veículo, compressores, distribuidores de combustível, cilindros e transportador é fabricado localmente. O "design" do equipamento é geralmente baseado em protótipos testados originalmente em Itália. A gama de equipamento de conversão cobre 13 tipos

de automóveis, três modelos de caminhões e um "design" de autocarro. Todos são conversões "bi-fuel". O preço do gás natural estava, em 1992, entre 25 % e 50 % do da gasolina (IEA, 1992).

3.8.12 Outros países

A maior parte dos outros países que estão a experimentar os NGV estão principalmente a procurar substitutos para o petróleo importado. Muitos deles, tais como a Índia, o Paquistão e a Tanzânia, têm grandes depósitos de gás natural que não são explorados. A perspectiva de usar NGV é, por consequência muito atractiva economicamente. A Nova Zelândia e a Austrália estão a fazer um grande esforço para exportar a sua experiência e tecnologia para estes países e vários deles têm agora um grande número de veículos convertidos na estrada. Todos usavam, em 1992, conversões convencionais "bi-fuel" (IEA, 1992).

4. COMBUSTÍVEIS ALTERNATIVOS

4.1 GNC (Gás Natural Comprimido)

O combustível gasoso mais significativo na campanha contra a poluição atmosférica é o gás natural usado na forma de GNC (Gás Natural Comprimido).

O gás natural é um excelente combustível de motor. O seu principal constituinte, o metano, tem propriedades físicas e termodinâmicas que fazem dele um extraordinário combustível para motores de ignição de faísca. Assim, não é de surpreender que tenha sido usado nesta operação durante muitos anos. O uso de gás natural como suplemento e substituição do gasóleo tem sido largamente investigado, estando também bem estabelecido na prática.

Tanto os motores de ignição de faísca a gasolina como os motores de ignição de compressão a gasóleo podem ser convertidos para funcionar com gás natural comprimido. Porém, os fabricantes de veículos estão já a começar a produzir motores unicamente destinados ao uso de gás natural, os quais optimizam o consumo de combustível, aumentando a potência e reduzindo ainda mais as emissões (BRITISH GAS,1991a).

4.1.1 Conversão de veículos

Embora uma adaptação para GNC num veículo originalmente desenhado para operar com um combustível diferente envolva, obviamente, uma despesa de capital adicional e compromissos técnicos, a grande maioria de veículos a GNC, hoje em uso, são adaptações de veículos originalmente desenhados para utilizar gasolina ou gasóleo e têm estado a operar com sucesso e com suficientes poupanças nos custos de combustível para justificar que os seus proprietários continuem a operar com eles.

QUADRO 4.1 - Estatística de conversão de veículos (1988)

País	Veículos Convertidos	Conversões "diesel"	Estações de Reabastecimento
Itália	270000	70	230
Nova Zelândia	110000	50	450
Ex-URSS	70000	-	250
Estados Unidos da América	30000	50	290
Canadá	15000	10	130
Argentina	10000	-	43
China	2000	-	-
Austrália	500	150	25

Fonte: IANGV; 1990.

O combustível GNC não pode ser usado num veículo a gasolina ou gasóleo sem modificações ao sistema de fornecimento de combustível.

4.1.1.1 Conversão de motores a gasolina

Uma adaptação (instalação do sistema de fornecimento de GNC depois de fabrico) de um motor a gasolina, requer a instalação de cilindros de armazenamento de gás, um misturador ar/gás para dar uma mistura correcta, sistema de canalização de alta pressão, válvulas de regulação de pressão, válvula de abastecimento e uma ligação ao carburador.

Esta adaptação do motor a gasolina é geralmente feita a fim de permitir um sistema de combustível "bi-fuel" no qual o gás é usado como um combustível alternativo e o condutor pode seleccionar o combustível que pretende.

O método "bi-fuel" é geralmente preferido pelos motoristas privados, porque existe um menor risco de ficar sem combustível em viagens mais longas, embora isto resulte numa situação sub-ótima de combustível GNC num sentido técnico.

O veículo pode ser mais extensivamente modificado para tirar total vantagem das propriedades técnicas do GNC como combustível, obtendo uma maior eficiência térmica do motor, o que requer um aumento do rácio de compressão do motor, de 8 num veículo a gasolina, para cerca de 12 para uso de GNC, caso em que não é mais capaz de funcionar com gasolina.

O aumento do rácio de compressão (por forma a que apenas possa usar GNC) de um veículo desenhado para funcionar a gasolina pode causar problemas, porque o motor não foi concebido para lidar com as forças impostas por um mais elevado rácio de compressão.

Os equipamentos de conversão de veículos de motor a gasolina com ignição de faísca (muitas vezes conhecidos como motores do "Ciclo Otto") para GNC estão facilmente disponíveis em vários fabricantes. A única parte que necessita de ser especificamente desenhada para cada modelo de motor é o misturador de gás ligado ao carburador.

Uma vez que a maior parte dos veículos a GNC a operar no presente são conversões para uso de dois combustíveis, a diferença nas características dos combustíveis requer que sejam feitos compromissos em termos de ajustamentos de motor a fim de que o motor possa funcionar razoavelmente bem com os dois combustíveis.

Contudo, os problemas técnicos envolvidos nas conversões de motores para utilização de GNC têm sido resolvidos, estando a ser empreendidos programas de conversão de larga-escala com a confiança de que serão mecanicamente viáveis.

4.1.1.2 Conversão de motores a gasóleo

No caso de motores a gasóleo (conhecidos como motores do "Ciclo Diesel"), existem alguns equipamentos disponíveis em Itália, que foram desenhados para um motor italiano a gasóleo e requerem uma substancial modificação antes que possam ser usados com sucesso em outros modelos de motor.

Qualquer motor de "Ciclo Diesel" pode ser modificado para funcionar com GNC, mas a modificação é específica para aquele tipo e modelo de motor, ou seja, não existe universalmente disponível equipamento de modificação de motores de "Ciclo Diesel".

A maior parte das conversões de veículos a gásóleo para utilização de GNC são protótipos e o número total convertido é muito mais baixo que no caso de motores a gasolina com ignição de faísca. Quase todas essas conversões são, no presente, do tipo gás aspirado e usam gásóleo para a ignição.

A adaptação de um veículo com motor de "Ciclo Diesel" para funcionar com GNC coloca alguns problemas, pois o GNC não se auto-inflamará num motor de ignição de compressão como acontece com o gásóleo, sendo assim necessário fornecer alguma forma de sistema de ignição. Isto pode ser feito retendo o sistema de injeção de gásóleo original e usando cerca de 20 % a 30 % de gásóleo como uma carga de ignição para o GNC (sistema "dual-fuel"¹⁴), ou substituindo a cabeça do cilindro por uma desenhada para ignição de faísca.

Para eliminar os problemas existentes e tirar o máximo de vantagens do uso de gás natural estão a ser tentadas soluções mais radicais que envolvem a mudança de motores de ciclo "diesel" para motores de ciclo "otto" fabricados para circular unicamente com gás natural, que começam agora a estar disponíveis comercialmente.

4.1.2 Segurança de veículos a GNC

O gás natural como combustível de veículo compara-se muito favoravelmente com a gasolina e o gásóleo segundo o ponto de vista da segurança. Qualquer fuga dispersa-se rapidamente na atmosfera, porque o metano é mais leve do que o ar.

Dado que se dispersa rapidamente, é improvável que o metano tenha níveis de concentração suficientes para causar tontura ou asfixia. A maior preocupação em relação ao uso do gás natural em veículos centra-se à volta da integridade do sistema de armazenamento de alta pressão. Dado o número de veículos a gás natural em serviço e as suas localizações, os dados detalhados sobre acidentes são limitados. Contudo, não existe indicação de que os veículos a gás natural estejam mais sujeitos que outros veículos a incêndios ou acidentes de qualquer natureza (IEA,1992).

Como a temperatura de ignição para o gás é de 600°C, cerca de 150°C mais elevada que para a gasolina, é menos provável inflamar-se, sendo o risco de incêndio mais reduzido. Na altura do reabastecimento não é libertado vapor do combustível porque o bico do instrumento apropriado para encher está ligado ao veículo com um selo positivo (BRITISH GAS,1991a).

¹⁴ Motores "dual-fuel" - Motores que podem queimar um combustível alternativo (por exemplo o gás natural) e um combustível convencional (por exemplo, o gásóleo) simultaneamente (CANNON, 1993).

Extensivos e rigorosos programas de teste em laboratório sobre acidentes envolvendo incêndio ou danos de colisão, indicam que a falha catastrófica do cilindro é uma possibilidade extremamente remota. Os padrões de segurança procuram cilindros que permaneçam numa peça quando explodem como oposto à explosão em peças.

O cilindro de gás, desenhado para resistir a uma pressão extrema, é muito mais forte, sendo menos provável que seja rompido num acidente que os convencionais reservatórios de combustível.

O trabalho corrente no que respeita aos cilindros de armazenamento de gás pode actuar como um precedente para a formulação de outros padrões no que respeita à segurança do gás natural.

Os NGV são também populares para os condutores, que comentam que eles são mais suaves e mais silenciosos que os veículos a gasolina ou gasóleo (BRITISH GAS, 1992).

4.1.3 Armazenamento do gás dentro do veículo

Existem três métodos possíveis de armazenar o gás natural dentro de um veículo: sob compressão em cilindros de alta pressão, como um líquido em reservatórios criogénicos ou através de adsorção em materiais especiais de elevada porosidade contidos em reservatórios (IEA, 1992).

As conversões de veículos a gasolina e de veículos a gasóleo usam os mesmos cilindros de armazenamento de alta pressão. Estes são colocados dentro do compartimento da bagagem de pequenos veículos ou, quando a liberdade do cilindro no solo é suficiente, poderão ser montados no chassi de veículos maiores.

Os cilindros têm de ser robustos devido às elevadas pressões. Correntemente são feitos de aço e um cilindro típico com a capacidade de 50 litros pesa aproximadamente 45 Kg, contendo o equivalente a cerca de 14 litros de combustível líquido. Para uma razoável autonomia, um veículo pequeno necessita de dois reservatórios, enquanto um veículo maior terá mais (BRITISH GAS, 1991a).

Nenhum dos métodos referidos pode fornecer a mesma densidade de energia armazenada que para a gasolina e o gasóleo. De facto, um veículo usando gás natural comprimido necessita de carregar entre três e quatro vezes o volume de combustível para obter a mesma autonomia que um similar veículo a gasolina ou gasóleo. Muitos veículos convertidos reduziram a autonomia de condução porque não foi possível fornecer muito espaço extra para reservatórios de combustível.

O modo mais comum de armazenar o gás dentro dos veículos é em cilindros à pressão de 200 bar. Este método tem sido padrão durante muitos anos, sendo provável que continue como tal num futuro próximo. Os cilindros de aço são largamente utilizados no presente mas estão a ser substituídos por novos tipos que são muito mais leves (feitos de alumínio e materiais compósitos).

Se o volume requerido para armazenamento tiver de ser reduzido a pressão de armazenamento deverá ser aumentada. A mais elevada pressão requer, no entanto, cilindros mais fortes e por consequência mais pesados e mais dispendiosos, originando também um aumento no trabalho de compressão, com os correspondentes mais elevados custos de energia. Por estas razões a pressão padrão de armazenamento permanecerá provavelmente em cerca de 200 bar na maioria dos países, apesar dos fabricantes de equipamento original de veículos nos Estados Unidos da América estarem a defender 240 bar como meio de aumentar a autonomia do veículo.

Os cilindros de composição compósita poderão permitir um uso mais eficiente do espaço disponível de um veículo porque podem facilmente ser feitos numa variedade de formas e dimensões. Alguns países ainda não aprovaram os novos cilindros mais leves para uso em veículos. Foi estabelecido um grupo de trabalho com o objectivo de produzir um padrão internacional no que respeita às necessidades de segurança para cilindros de gás natural (IEA, 1992).

A investigação está a ser dirigida para a redução do peso dos cilindros e para o armazenamento na forma adsorvida. Nesta forma de armazenamento, os adsorventes comprimem as moléculas de metano dando uma maior capacidade de armazenamento a mais baixas pressões (BRITISH GAS, 1991a).

Os reservatórios de gás a funcionar segundo o princípio da adsorção maximizarão a quantidade de gás armazenada a baixa pressão, podendo assim evitar que se incorra em maiores custos de compressão e reabastecimento e na necessidade de observar limites muito rigorosos relativos às maiores pressões adoptadas para o carregamento do gás nos cilindros dos veículos.

O armazenamento na forma adsorvida, que usa pressões entre 30 e 60 bar, dá uma densidade de energia entre a do gás comprimido e a do gás liquefeito. Vários materiais e técnicas têm sido investigados durante os últimos anos, estando um consórcio de companhias europeias e americanas correntemente empenhado nessa investigação (IEA, 1992).

4.1.4 Sistemas de abastecimento de veículos

Os veículos a GNC são reabastecidos através de uma mangueira flexível de alta pressão com uma extremidade que se ajusta dentro de um receptáculo no veículo. A outra extremidade da mangueira está ligada a uma linha rígida de combustível de alta pressão, que é alimentada por um compressor, por cilindros de alta pressão contendo GNC, ou por uma combinação de ambos, sendo incorporados no sistema numerosos dispositivos de segurança.

Sistema "fast-fill"

Existe um sistema que utiliza cilindros de armazenamento de gás a alta pressão para operação de abastecimento rápido ("quick-fill" ou "fast-fill") e tem um tempo de reabastecimento de veículo de 2 a 4 minutos. Este sistema é ideal quando se pretende que o tempo de reabastecimento seja comparável aos habituais combustíveis

líquidos, sendo necessários compressores de elevada capacidade e reservatórios intermédios de armazenamento (IEA,1992).

Poderão existir estações de gasolina com facilidades de gás adicionais ou apenas com operações de gás. O GNC é distribuído ao veículo através de uma mangueira e o abastecimento pára automaticamente quando é atingida uma certa pressão. Este sistema, também conhecido por "sistema de cascata" compreende um compressor com uma capacidade de mais de 600 m³/h, cilindros de armazenamento e um distribuidor com um instrumento para medir o volume do fluxo.

O gás é comprimido para 250 bar e armazenado, existindo, geralmente, três bancos destes cilindros, que sequencialmente reabastecem o veículo. O primeiro, ou banco de baixa pressão fornece a carga inicial. Depois, quando a pressão do cilindro de armazenamento do veículo iguala a do banco de baixa pressão, o sistema muda automaticamente para o segundo, ou banco de cilindros de média pressão. O fluxo final é fornecido a partir do terceiro, ou banco de cilindros de baixa pressão. Um controlador de pressão faz terminar o abastecimento quando os cilindros de armazenamento do veículo estão cheios.

Quando a pressão nos cilindros de armazenamento da estação cai, o compressor começa a funcionar e enche-os, começando pelo banco de alta pressão, depois o banco de média pressão e finalmente o banco de baixa pressão. Esta disposição maximiza as pressões de reabastecimento durante as horas de ponta, proporcionando a máxima utilização do compressor.

Com este sistema, uma estação de abastecimento pode ter várias centenas de veículos por dia porque o seu abastecimento e o recarregamento dos cilindros em cascata é muito rápido (BRITISH GAS,1991a).

Sistema "slow-fill"

Um sistema alternativo é usado geralmente para reabastecer os cilindros de gás de frotas de veículos que voltam a um depósito central e não são utilizados de noite, conhecidos como sistemas de abastecimento lento ("trickle-fill" ou "slow-fill"). Neste caso, pode ser usado um compressor muito mais pequeno, sem a necessidade de reservatórios intermédios, operando à pressão de 165 bar do cilindro do veículo, com pouca ou nenhuma capacidade de armazenamento, ao qual todos os veículos estão unidos simultaneamente. É, por consequência, menos dispendioso que a estação "quick-fill", que é a principal fonte de despesas no sistema de GNC, mas tem a desvantagem de os veículos estarem imobilizados durante um período de tempo considerável enquanto estão a ser reabastecidos.

Sistema "satélite"

O gás natural para veículos é também distribuído em semi-reboques com reservatórios de alta pressão. Estes são enchidos numa grande estação compressora central e conduzidos para onde o combustível é necessário. O semi-reboque pode carregar um pequeno compressor para abastecer o veículo directamente ou estar ligado a um sistema "slow-fill" permanente na estação de reabastecimento. Este

sistema pode distribuir combustível a qualquer localização, incluindo as que estão longe de um gasoduto principal. Este processo tem-se tornado conhecido como sistema de abastecimento "mother-daughter" ou "satélite" (IEA,1992).

Reabastecimento "Robot"

Apesar de ainda não se encontrar desenvolvido, tecnicamente é possível reabastecer automaticamente um autocarro numa paragem usando um robot. A figura seguinte dá uma ideia de uma tal paragem de autocarro com facilidades de reabastecimento. Neste caso a capacidade de armazenamento de combustível deve ser suficiente para a distância entre duas estações de reabastecimento. Nestas circunstâncias, o número de cilindros de reabastecimento pode ser consideravelmente reduzido (VAN DER WEIDE, J.; SEPPEN, J., 1992).

Custos das estações de abastecimento

Tanto em estações "fast-fill" como "slow-fill" o sistema de abastecimento do veículo é consideravelmente mais complicado e dispendioso que o reservatório tradicional, bomba e sistema de medição para a gasolina ou gasóleo. O adicional custo de capital é acompanhado por mais elevados custos de manutenção. No caso dos sistemas "fast-fill" o custo de energia (normalmente electricidade) para fazer funcionar o compressor também é um factor significativo na economia global do gás natural (IEA,1992).

O sistema de abastecimento "slow-fill" é a opção mais barata, pretendida pelos motoristas que desejam possuir as suas próprias facilidades de reabastecimento (BRITISH GAS,1991a)

O elevado custo de construção de estações de abastecimento de GNC é um dos principais motivos do atraso no estabelecimento de uma rede de abastecimento de combustível. Têm-se tornado disponíveis, recentemente, pequenos compressores individuais, que podem estar ligados a qualquer sistema de fornecimento de gás doméstico ou industrial e são capazes de reabastecer um veículo ligeiro em aproximadamente seis horas. Estes dispositivos constituem um método com um custo relativamente baixo de expandir a disponibilidade de gás natural para uso como combustível de veículo, estando agora a ser vendidos ao público, na Europa, Nova Zelândia e América do Norte em quantidades crescentes (IEA, 1992).

Localização das estações

Obviamente, a estação de abastecimento necessita de um fornecimento de gás natural seguro que é, em geral, obtido através de um gasoduto, e quanto maior for a pressão no gasoduto mais baixos serão os custos de compressão na estação de abastecimento.

A melhor localização para uma estação de abastecimento de GNC é, por consequência, na parte principal de um gasoduto, que tem a pressão de cerca de 5 bar, ou perto dela. Uma linha de distribuição de gás de mais baixa pressão (1.5 bar) é uma localização possível mas menos desejável, enquanto em certos casos é possível

estabelecer estações de abastecimento satélite à distância de mais de 300 quilómetros do gasoduto, sendo os cilindros de GNC transportados em semi-reboques por estrada.

Por vezes a procura no sector dos transportes não é, por si só, suficiente para justificar a extensão do sistema de gasoduto. Assim, em países em desenvolvimento, a conversão de veículos para GNC é apenas económica na proximidade de um gasoduto. Além disso, a reduzida autonomia dos veículos a GNC quando comparada com os que operam a gasolina ou gasóleo significa que é necessária uma mais elevada densidade de estações de abastecimento. Isto tende a fazer aumentar os parâmetros económicos em favor de frotas cativas de veículos que operam numa área restrita e voltam frequentemente para uma localização central.

Medição do gás

A medição do gás fornecido a cada veículo em estações de abastecimento coloca alguns problemas. O primeiro método foi o de ler a pressão tanto no cilindro do veículo como no cilindro de armazenamento antes e depois do abastecimento e calcular a quantidade de gás transferida para o veículo com referência a uma tabela. Este método não é muito rigoroso porque os próprios instrumentos de medição não são particularmente precisos e os rápidos graus de dispersão e variações de pressão causam mudanças de temperatura que também afectam o volume de gás transferido.

Um método mais moderno usa um aparelho computerizado destinado a medir o fluxo, que pode ser pré-programado para considerar todas as variáveis significativas quando calcula a quantidade de gás transferido do armazenamento da estação de abastecimento para o veículo.

4.1.5 Vantagens do GNC

As vantagens e benefícios que decorrem da utilização do GNC como combustível têm sido muito discutidas. Os benefícios mais referidos são os seguintes: menores custos de combustível, melhor utilização dos recursos, segurança de abastecimento, emissão e ruído mais baixos, menores custos de manutenção e operação mais limpa. À excepção das poupanças directas de custo de combustível, as vantagens são em geral muito mais difíceis de quantificar que os custos.

No que respeita à melhor utilização de recursos, considera-se que o gás natural tem um menor potencial de comércio de exportação que os hidrocarbonetos líquidos. Com a excepção do GNL e algumas exportações por gasoduto, a maior parte dos países em desenvolvimento devem tentar desenvolver os seus recursos de gás ao nível local, para a indústria, uso doméstico e para os transportes. Deste modo, a um nível nacional, a substituição de combustíveis líquidos por gás natural pode permitir uma melhoria significativa na utilização equilibrada de recursos (LANGV, 1990).

O gás natural também permite alguma segurança de abastecimento, pois quando um país está totalmente dependente de combustíveis líquidos importados para o seu sistema de transporte a mudança para um combustível alternativo produzido localmente pode permitir alguma protecção no caso de uma crise no mercado

internacional do petróleo, sendo esta vantagem encarada como um benefício de longo prazo (IANGV,1990).

Contudo, quando a ênfase está concentrada em veículos de frotas comerciais e industriais de elevada quilometragem, isto pode ser visto como uma protecção para uma indústria vital.

O transporte urbano moderno caracteriza-se por congestionamento do tráfico, poluição atmosférica e ruído. Os combustíveis tradicionais utilizados nos transportes constituem uma das principais fontes de componentes orgânicos voláteis, óxidos de azoto, dióxido de carbono, monóxido de carbono e enxofre. Uma mudança para o gás natural como combustível pode ser muito importante para aliviar a poluição e o ruído (IEA,1992).

O GNC queima de um modo mais lento que a gasolina, tendo como resultado um reduzido desgaste do motor. O óleo do motor dura também mais tempo. Nos motores a gasolina e gasóleo a formação de sólidos, água e ácidos causa uma alteração da viscosidade do óleo. É por isso que o óleo do motor deve ser mudado regularmente (tipicamente todos os anos ou 6 000 milhas). Com motores a funcionar com GNC, a deterioração do óleo demora mais tempo devido à natureza mais limpa da queima do gás, requerendo mudança de óleo menos frequentemente (BRITISH GAS,1991a).

4.1.6 Desvantagens do GNC

Têm sido discutidas as seguintes desvantagens: elevado custo de conversão, perda de potência, perda de autonomia, tempo de abastecimento extra, aumento do peso, perda de espaço de armazenamento, dificuldades de arranque.

O custo de conversão do veículo tem um forte, mas nem sempre dominante efeito sobre os proveitos. As componentes deste custo são o equipamento, o trabalho e o tempo do veículo fora da estrada enquanto está a ser convertido. Quando são introduzidos sistemas de fabrico de equipamento original estes três tipos de custo poderão ser reduzidos.

A maior parte dos indivíduos ou organizações que convertem veículos para gás natural fazem isso na base das poupanças esperadas, sendo importante que estas possam ser estimadas com rigor.

A indústria de NGV já atingiu a fase em que as necessidades em equipamento e trabalho para instalação numa base de adaptação e fabrico de equipamento original podem ser estabelecidos com precisão para veículos que funcionam a gasolina. No caso de veículos a gasóleo existe uma selecção crescente de motores já caracterizados, podendo os custos de conversão ser estimados com confiança.

A preocupação com os custos de conversão é expressa frequentemente por aqueles que, por várias razões, não têm suficiente informação sobre os custos e não estão convencidos das vantagens totais dos NGV (IANGV, 1990).

É provável que um motor a gasolina convertido sofra uma perda de potência de cerca de 10 % quando opera com gás natural. Isto porque o gás ocupa um maior volume dentro da câmara de combustão do motor que a gasolina, o que reduz a quantidade de combustível induzido (BRITISH GAS,1991a).

No caso das conversões "bi-fuel", foi reconhecido que o tempo de ignição relacionando as necessidades de gasolina e de gás é essencial. O desenvolvimento de sistemas de ignição electrónicos tem ajudado a obter bons resultados com os dois combustíveis. Há que considerar que o condutor médio é insensível a deficiências bastante grandes de potência (mesmo superiores a 20 %) em condições normais de condução. Quando é necessária a potência máxima (por exemplo quando se transporta uma carga pesada) é possível a reversão para gasolina num motor "bi-fuel". Os motores a gasóleo convertidos também sofrem uma perda de potência (apesar de ser muito menor que para os motores a gasolina) e uma ligeira redução na eficiência do motor quando opera com dois combustíveis (IANGV, 1990).

Nas primeiras fases de um programa de GNC, o problema da autonomia é preocupante. Quando começam a ser construídas mais estações de reabastecimento, as preocupações dos condutores com a reduzida autonomia começam a diminuir. A mais frequente necessidade de reabastecimento (talvez três vezes mais que quando se usam combustíveis líquidos) constituirá um agravamento menor para alguns condutores de veículos privados enquanto que para operadores comerciais qualquer inconveniente de tempo poderá trazer um custo adicional.

O problema do aumento do peso e da perda de capacidade de armazenamento é mais agudo para o armazenamento de alta pressão. O peso do veículo pode aumentar porque os cilindros de aço de alta pressão são muito mais pesados que os reservatórios para gasolina ou gasóleo.

Para muitos utilizadores de veículos privados o número de ocasiões em que a perda de espaço de armazenamento causa inconveniente é pequeno. Contudo, é essencial que a dimensão do cilindro seja correctamente seleccionada e que a instalação seja desenhada de modo a não obstruir o espaço de armazenamento. O resultado aqui envolvido não está desligado da autonomia, pois quando o problema de autonomia é ultrapassado através da instalação de mais cilindros ou mais largos, o problema de peso e de diminuição de capacidade de armazenamento agrava-se.

Em veículos comerciais deve haver cuidado para assegurar a capacidade mínima de armazenamento. A desvantagem do peso é agravada para veículos onde existe alguma forma de imposto rodoviário ligada à sua carga, sendo a introdução de cilindros mais leves um factor importante para aliviar este problema (IANGV,1990).

Existiram inicialmente problemas de arranque em algumas conversões "bi-fuel" (com gasolina), mas com uma correcta instalação e manutenção, o arranque não deve representar agora qualquer problema. Com temperaturas ambiente baixas, um combustível gasoso tem vantagens em relação aos combustíveis líquidos. Contudo, é essencial que seja dada ao condutor de um veículo recentemente convertido adequada informação sobre o arranque e processos de mudança de combustível.

No caso de conversões de motores a gasóleo não devem existir dificuldades de arranque. O sistema "dual fuel" utiliza o sistema de arranque normal de gasóleo. No caso de conversões "diesel" para ignição de faísca podem apresentar-se alguns problemas de arranque, particularmente com temperaturas baixas (IANGV,1990).

4.2. GNL (Gás Natural Liquefeito)

O principal uso do GNL é como um método de transportar o gás natural de áreas onde é abundante e barato para onde é necessário. Presentemente, o Japão é o maior importador, seguido da Europa Ocidental e dos Estados Unidos. O GNL é também usado pelas companhias de gás como um método de alcançar o máximo da procura através do armazenamento de gás na forma líquida perto das áreas de consumo.

O GNL pode ser facilmente transportado como carga em veículos rodoviários e isso é, por vezes, usado como um método de distribuição de gás para áreas onde a procura não é suficiente para justificar uma ligação de gasoduto. Contudo, dados os elevados custos de liquefacção do gás e dos contentores criogénicos, o seu uso como combustível de veículo requer um estudo cuidadoso.

O uso de GNL como combustível de veículo está limitado, presentemente, a um pequeno número de veículos experimentais e o consenso geral é de que os problemas práticos envolvidos na utilização de um combustível líquido a uma temperatura de -165°C e pressão entre 4 e 10 bar num veículo rodoviário são tais que é improvável que esteja em uso geral num futuro próximo. O gás liquefeito pode ser bombeado para dentro do veículo de modo similar à gasolina e gasóleo.

O GNL permite valores de peso de armazenamento e volume muito próximos dos valores da gasolina e do gasóleo, sendo esta a principal razão para a investigação do uso de GNL em veículos. Contudo, os problemas associados à produção, armazenamento e distribuição numa escala alargada torna improvável que o gás natural liquefeito seja viável para uso em veículos privados ou em frota, sendo mais provável que seja usado para abastecimento de autocarros e camiões pesados a partir de pontos centrais (IEA,1992).

As primeiras fases da cadeia do combustível são quase as mesmas para o GNL como GNC. A extracção/preparação e processamento necessitam de 2 % cada da energia do combustível produzido. A procura de energia é um pouco mais baixa para o GNL que para o GNC.

A principal energia necessária para o GNL é para o processo de liquefacção do gás. Em instalações modernas 9-10 % da energia do combustível é necessária para este fim. Outros processos que necessitam de energia e contribuem para perdas são o armazenamento, transporte por mar e regaseficação. Juntos estes processos necessitam de 2-7 % da energia do combustível e as perdas são estimadas em 1-2 %. As perdas dependem do período de tempo durante o qual o gás é armazenado ou transportado como um líquido, dado que existe sempre perdas dos reservatórios criogénicos (0,15 % por dia).

O uso total de energia na cadeia do combustível GNL é de cerca de 20 % do produto final. Em comparação com os 14 % do GNC este é um valor elevado. Adicionando isto às esperadas dificuldades práticas com os reservatórios criogénicos em veículos é completamente compreensível que o GNC seja o combustível de veículo preferido (ECOTRAFFIC AB, 1992).

4.3 Metanol

4.3.1 Introdução

O metanol é um líquido claro, incolor, inflamável e com pouco cheiro perceptível. Tem uma longa e esporádica história de uso como combustível de veículo, tendo sido usado como tal nos primeiros motores de combustão interna, mas foi rapidamente substituído pelos muito mais baratos derivados do petróleo. Tem uma quantidade de características desejáveis para um combustível de automóvel, entre as quais o seu elevado nível de octanas e os baixos níveis de emissões de escape nocivas.

Nos últimos anos tem havido um renascimento do interesse pelo potencial do uso de metanol como combustível de veículo por diversas razões, entre as quais está o facto de ele poder ser produzido a partir de uma grande variedade de matérias primas, incluindo o carvão e o gás natural.

A tecnologia para a produção a partir de turfa e biomassa está disponível mas não é comercialmente usada. A produção de metanol a partir do gás natural ocorre crescentemente perto dos campos de gás e não nas áreas de consumo para evitar os elevados custos para o transporte do gás comparados com o transporte do produto, líquido e fácil de manusear.

O seu baixo nível de emissões nocivas faz o seu uso atractivo em lugares tais como a Califórnia, onde a poluição atmosférica é um problema sério e o seu potencial para alimentar motores é do interesse dos fabricantes de automóveis.

Álcoois tais como metanol e etanol constituem bons combustíveis para motores do ciclo "Otto" tanto pela sua elevada resistência à detonação, que determina o seu uso como um aditivo em gasolina, como pela relativa pureza dos fumos produzidos.

4.3.2 Produção de metanol

A experiência de operação com veículos modernos a metanol é suficiente para que os principais fabricantes de veículos considerem a sua produção se existir um mercado suficiente para estabelecer uma linha de produção.

O metanol requer complexas e dispendiosas instalações de produção, sendo uma das possíveis matérias-primas o gás natural. Quando o gás natural é convertido para metanol devem ser aceites significativos custos de processamento e elevadas perdas termodinâmicas. O metanol usa inicialmente a matéria-prima gás natural mas

necessita de passar através de um processo complexo carecendo, assim, da simplicidade do gás natural em termos de uso directo.

A decisão de usar um combustível de elevado grau como o gás natural para produzir um combustível também de elevado grau, com um colateral gasto de energia, é discutível. Se existir uma infra-estrutura de gás estabelecida, a cadeia do metanol desde o poço de gás até ao motor do veículo é intensiva em energia.

A cadeia do metanol começa com a recuperação do gás, assumindo-se que o uso de energia para a recuperação é de cerca de 3 % da energia do produto final metanol.

Os campos de petróleo e de gás com uma insuficiente base para um gasoduto ou para uma instalação de GNL podem ser utilizados para a produção de metanol. Estão a ser construídas no "off-shore", instalações flutuantes de produção de metanol.

A instalação de metanol utiliza preferencialmente gás natural húmido devido ao rácio hidrogénio/carbono mais favorável e mais elevados rendimentos. As fugas em sistemas modernos deverão ser mínimas entre o poço de gás e a instalação de metanol, < 0,1 %.

O transporte de metanol desde as instalações perto dos campos de gás ocorre através de navios cisterna ou por terra através de gasoduto quando o volume o justificar. As perdas durante o transporte e armazenamento são insignificantes. A distribuição desde os terminais até aos utilizadores finais seguirá o mesmo padrão que para a gasolina.

O uso de energia em toda a cadeia para o metanol desde o poço do gás natural até ao reservatório do veículo é apresentado do quadro seguinte.

QUADRO 4.2 - Uso de energia na cadeia de combustível desde o gás até ao metanol

Fase	Uso de Energia MJ/MJmetanol
Recuperação do gás natural e preparação	0.03
Conversão	0.40
Transporte por mar para os Terminais	0.012
Distribuição por Terra (incluindo perda por evaporação de 0.002)	0.010
Total	0.45

Fonte: ECOTRAFFIC AB, 1992.

O metanol pode também ser produzido a partir do carbono mas neste caso, para além dos elevados custos envolvidos na construção de estruturas de produção, existe a carga colocada no ambiente, pela extracção, processamento e transporte da matéria-prima.

4.3.3 Uso de metanol em veículos

O uso de metanol pode ocorrer tanto em motores "Otto" como em motores "diesel". Em motores "Otto" o metanol permite uma eficiência mais elevada, correspondendo a um consumo de energia de menos de 10 % em termos energéticos (variando entre 5 e 15 % ou mais dependendo do grau de optimização). Em motores "Diesel" presume-se o mesmo consumo de combustível ou um pouco superior.

Em trabalho de desenvolvimento e demonstração o M85 ou o M90 (metanol misturado com 15 ou 10 % do seu volume com gasolina/hidrocarbonetos) são muitas vezes usados para motores "Otto" e M100 para motores "diesel". Considera-se que o M100 é o combustível de escolha para usar todo o potencial de redução de emissões (ECOTRAFFIC AB, 1992).

Devido ao elevado número de octanas, o metanol necessita de alguma forma de ignição quando usado num motor de veículo. No caso de motores a gasolina convertidos, é usado o original sistema de ignição de faísca. No caso de motores a gasóleo, dado que o gasóleo e o metanol são imiscíveis (não se podem misturar) não tem sido possível usar o sistema de combinação de combustíveis usado com o GNC e GPL, devendo o motor ser convertido para usar 100 % de metanol e adaptado com ignição de faísca ou com uma vela de ignição.

No entanto, pode referir-se que existe um fabricante a ensaiar um sistema no qual um sensor óptico pode detectar a diferença entre o metanol e a gasolina e ajustar o motor para funcionar com um dos combustíveis. Isto permitirá que o veículo seja abastecido indiscriminadamente com gasolina ou metanol e funcione com um ou outro. Até agora, este sistema não foi para além da fase experimental.

Em geral, os veículos a metanol não estão disponíveis directamente a partir do fabricante numa base regular. A maior parte do trabalho experimental recente sobre veículos a metanol tem sido feito nos Estados Unidos (Califórnia), Alemanha Ocidental e Suécia.

Os fabricantes de motores, que começaram a trabalhar com metanol, trabalhavam com motores exclusivos que poderiam apenas operar apenas com metanol. Alguns fabricantes trabalhavam com um elevado rácio de compressão, outros com um rácio de compressão semelhante ao da gasolina.

Os problemas encontrados na conversão de veículos existentes para funcionar com metanol advêm principalmente da sua reactividade química. Algumas das partes do sistema de combustível existente, no caso do motor a gasolina, que podem ser afectadas são o revestimento do reservatório de combustível (em alguns casos só isso), a tubagem e o metal que compõe o corpo do carburador.

A conversão do veículo requer a substituição das várias partes com materiais resistentes ao metanol e a cromagem do interior do corpo de metal do carburador, com níquel. Em geral, o metanol reage quimicamente com o alumínio, cobre e zinco e

mistura-se com metais que contêm estes materiais, que devem assim ser eliminados do sistema de abastecimento de combustível ou protegido dos contactos com o metanol através da cromagem com metais resistentes. Se o metanol for contaminado com água torna-se também corrosivo com o ferro (aço). Nenhum destes problemas é tão sério como parece, pois têm sido encontradas soluções técnicas para todos eles.

O sistema de abastecimento de combustível é praticamente idêntico ao da gasolina ou gasóleo e qualquer estação de reabastecimento pode possuir um reservatório extra para conter metanol ou esvaziar um reservatório existente para esse fim. As únicas modificações ao sistema de abastecimento correspondem às necessárias para o sistema de combustível do veículo, ou seja, substituição de alguns materiais e protecção das partes sensíveis de metal através da cromagem. Para além da necessidade de um maior cuidado para evitar a contaminação da água, o metanol pode ser manuseado através do mesmo sistema de transporte e distribuição correntemente usado para os combustíveis líquidos.

4.3.4 Vantagens e desvantagens do uso de metanol

O metanol apresenta uma grande vantagem em relação a outras alternativas, pois encontra-se na forma líquida nas condições normais de temperatura e pressão, ao contrário do GPL e do gás natural. Apresenta, contudo, algumas notáveis desvantagens. O teor geral de hidrocarbonetos, SO_x e CO é mais baixo que o da gasolina, mas introduz um novo poluente, o formaldeído. Um outro problema associado ao uso de metanol é a sua toxicidade, que apesar de não ser maior que a da gasolina com chumbo, é um pouco mais perigosa.

O metanol é miscível com água em qualquer proporção, o que leva a que devam ser tomadas maiores precauções no seu armazenamento e manuseamento, para evitar a sua contaminação. No caso dos combustíveis de petróleo, isto não é necessário pois estes não são miscíveis com água.

Além disso, o metanol tem cerca de metade do conteúdo energético de um volume equivalente de gasolina ou gasóleo. Qualquer veículo desenhado para funcionar com metanol requer, deste modo, um volume de reservatório de combustível maior para obter a mesma autonomia.

O metanol puro queima com uma chama quase invisível, o que causa problemas no caso de incêndios. Esta situação poderá ser ultrapassada através do uso de aditivos, nomeadamente entre 5 % e 10 % de gasolina, que torna a chama luminosa. Contudo, os incêndios provocados por metanol, podem ser extintos com água, o que não é o caso dos produtos de petróleo.

4.4 Etanol

O etanol é produzido através da fermentação de produtos vegetais, cujo valor como alimento pode ser variável. As principais matérias-primas são o milho e a cana de açúcar. A obtenção de etanol é dispendioso para toda a economia de um país, pois requer instalações de destilação complexas, grandes quantidades de biomassa e

consideráveis quantidades de combustível para sustentar o processo. O processo de fermentação liberta grandes quantidades de dióxido de carbono para a atmosfera.

O etanol é, assim, uma alternativa válida em grandes áreas geográficas planas com um sistema de agricultura adequado e bastante desenvolvido, como por exemplo no Brasil (que tem utilizado etanol a partir da cana de açúcar como combustível) ou nos Estados Unidos da América, podendo, contudo, ser demasiado dispendioso em termos financeiros e de espaço em outras localizações.

Em pequenas quantidades pode ser usado por veículos sem modificações. O motor a gasolina de hoje pode tolerar uma mistura etanol/gasolina utilizando até 10 % de etanol. Pelo contrário, um motor a gasolina não modificado pode apenas tolerar até 5 % de metanol.

O fabrico de etanol a partir de biomassa é, presentemente uma tarefa dispendiosa e consumidora de tempo, necessitando de cinco passos diferentes (pré-tatamento, fase enzimática, hidrólise e recuperação). Está a ser feita investigação por várias universidades e pela indústria, no sentido de fazer baixar os custos e acelerar o processo de fermentação.

O etanol permite reduções de de emissões similares ao metanol, queimando de uma forma mais limpa que a gasolina e emitindo menos monóxido de carbono e hidrocarbonetos.

4.5. GPL (Gases de Petróleo Liquefeitos)

4.5.1 Introdução

O GPL tem sido usado com sucesso como combustível de veículo durante muitos anos, existindo mais de um milhão de veículos a GPL em operação em todo o mundo. Devido ao facto de os gases de escape de veículos que queimam GPL serem muito baixos em componentes tóxicos, o seu impacto ambiental é menor que para os veículos a gasolina ou a gasóleo.

Os principais usos de GPL são como matéria-prima petroquímica e como combustível doméstico. É extraído de algumas fontes de gás natural, sendo também produzido como um subproduto da refinação do petróleo. Normalmente constitui menos de 10 % do gás natural. Entram, presentemente, grandes quantidades de GPL no comércio internacional a partir dos campos de petróleo do Médio Oriente.

O GPL têm a propriedade de poder ser armazenado a manuseado na fase líquida sob uma pressão moderada e temperatura ambiente.

4.5.2 Transporte e armazenamento de GPL

O GPL é facilmente transportado na forma líquida, tanto por terra como por mar. O transporte por barco do propano em grandes volumes ou durante longas distâncias é efectuado como líquido condensado por navios em reservatórios preparados para o frio. O transporte por barco durante distâncias mais curtas das refinarias ou terminais de gás para terminais de distribuição ocorre como líquido em reservatório sob pressão.

O transporte para as bombas de distribuição aos utilizadores finais é rodoviário ou ferroviário. Estima-se que o transporte de propano usa cerca do dobro da energia comparado com a gasolina, devido à mais baixa densidade energética, uso de barcos mais pequenos e reservatórios de pressão mais pesados.

O armazenamento de propano em larga escala ocorre como líquido condensado frio em reservatórios ou, preferencialmente em cavernas no subsolo. Os reservatórios sob pressão são usados para armazenamento numa escala mais pequena. As perdas durante o armazenamento são consideradas insignificantes (ECOTRAFFIC AB, 1992).

4.5.2 Uso de GPL em veículos

O uso final de propano ocorre presentemente em veículos com motores "Otto", a maior parte das vezes motores a gasolina e a gasóleo convertidos. Os motores com injeção directa de propano líquido, usando operação do ciclo "Diesel", poderão estar disponíveis no futuro.

Os veículos ligeiros com motores fabricados especificamente para o uso de GPL poderão obter eficiência igual ou superior às dos motores a gasolina. (ECOTRAFFIC AB, 1992).

O GPL tem um elevado nível de octanas, podendo ser usado em motores com uma elevada taxa de compressão, com por exemplo motores "Diesel" mas, tal como o GNC, não se pode inflamar somente por compressão. As opções técnicas possíveis para o uso do GPL como combustível de veículo são, assim, similares às do GNC, ou seja, utilização de dois combustíveis em motores a gasolina modificados, utilização de dois combustíveis em motores a gasóleo, usando entre 15 % e 20 % de gasóleo como inflamador e utilização de um único combustível em motores a gasóleo modificados para ignição de faísca. Os sistemas de GPL mais utilizados na Europa são sistemas de adaptação.

Cerca de 1.5 litros de GPL substituem um litro de gasolina e cerca de 1.7 litros de GPL substituem um litro de gasóleo. Como resultado, o volume do reservatório de combustível de um veículo a GPL necessita de ser aumentado relativamente a um veículo a gasolina ou gasóleo para obter a mesma autonomia. A perda de potência resultante da conversão de um motor a gasolina para GPL é insignificante, cerca de 5%.

O equipamento usado para a conversão de um veículo para GPL é basicamente similar ao usado para as conversões para GNC, mas dado que o GPL é facilmente reduzido a um líquido através de compressão para 8 bar à temperatura ambiente, pode ser armazenado num cilindro muito mais leve que para o GNC e todo o equipamento associado pode ser mais leve pela mesma razão.

Devido ao facto de o GPL ser um líquido, um reservatório de qualquer dimensão contém cinco vezes a energia que o cilindro de GNC da mesma dimensão e as desvantagens de autonomia e peso com o GPL são muito menores que as encontradas com as conversões para GNC.

Os custos para adaptar um veículo com moderno equipamento para utilização de GPL eram, em 1992, aproximadamente US\$1700. Estes custos terão de ser amortizados através de preços do combustível ou impostos mais baixos comparados com a gasolina e gasóleo. Os impostos sobre combustíveis variam fortemente entre países. O quadro seguinte mostra a quantidade de quilómetros que teriam de ser percorridos anualmente, em 1992, para compensar todos os custos envolvidos (comparados com a gasolina). O uso de GPL era atractivo, por exemplo, na Holanda e Itália mas não na Alemanha nem na França.

QUADRO 4.3 - Número de quilómetros que têm de ser percorridos para compensar os custos de instalação de equipamento de GPL

Pais	km/ano
Holanda	23 000
Itália	16 000
Alemanha	não tem vantagem
França	45 000

Fonte: VAN DER WEIDE, J; SEPPEN, J, 1992.

O equipamento de GPL necessita de um mais elevado nível de qualidade, sendo essencial uma mais estreita cooperação com os fabricantes de equipamento original para obter esse nível. Alguns fornecedores de equipamento de GPL na Holanda iniciaram o desenvolvimento da próxima geração de equipamento, tendo por objectivo um superior padrão de qualidade. De um ponto de vista técnico, existe interesse por tais sistemas por parte dos fabricantes de equipamento original, mas para obter uma cooperação efectiva, contudo, terá de estar disponível um interessante mercado para estes veículos. O nível de preços do GPL era, em 1992, demasiado elevado em muitos países para obter um mercado interessante do ponto de vista dos fabricantes de automóveis (VAN DER WEIDE, J.; SEPPEN, J., 1992).

4.5.3 Desvantagens do GPL como combustível de veículo

O maior problema com o GPL é o facto de se formarem, facilmente, misturas explosivas com o ar em espaços pobremente arejados, se existirem quaisquer fugas no sistema de combustível. Todavia, se forem tomadas adequadas precauções de segurança em oficinas e estações de reabastecimento, o GPL é um combustível relativamente seguro.

Os problemas técnicos com os combustíveis de GPL em países em desenvolvimento resultam principalmente do uso de componentes abaixo das normas de qualidade, no sistema de conversão. Frequentemente, os reservatórios de GPL são importações rejeitadas num país desenvolvido e certos mecânicos locais não especializados usam, por vezes, tubagens de borracha inadequadas para as ligações, o que conduz frequentemente a perigosas fugas de combustível.

A produção de GPL está indissoluvelmente ligada à produção de petróleo e gás, do qual representa uma pequena percentagem, estando o seu potencial como uma alternativa para os combustíveis tradicionais, assim, proporcionalmente limitado.

4.5.5 Emissões de veículos a GPL

O desenvolvimento de equipamento e resultados de emissão de GPL e GNC são bastante similares. No início de Setembro de 1990 o ministro alemão do ambiente introduziu uma legislação de emissão constituída particularmente para veículos convertidos para GPL.

Esta legislação dita que os veículos convertidos para GPL devem respeitar os mesmos padrões de emissão que os usados para aprovação quando funcionam a gasolina. Também quando funciona com gasolina com equipamento de GPL montado, o veículo tem de respeitar os mesmos padrões de emissão. Neste momento, os veículos com uma capacidade de motor superior a dois litros devem respeitar a legislação mais rigorosa de gases de escape da União Europeia.

A fim de obter estes veículos "limpos" aprovados, os fabricantes de equipamento instalam modernos sistemas de GPL, sendo a maior parte destes equipamentos microprocessadores controlados em combinação com o equipamento padrão de GPL. O GPL tem, potencialmente, a possibilidade de oferecer baixa emissão com custos de componentes atractivos (VAN DER WEIDE, J; SEPPEN, J, 1992).

4.6. Hidrogénio

4.6.1 Introdução

As características particulares do hidrogénio fazem dele um interessante combustível alternativo de motor. Estas características são: uma velocidade de combustão extremamente elevada e temperativa, baixo peso específico, grande variedade em misturas com o ar e fumos constituídos quase inteiramente por vapor de água e azoto. Por outro lado, está facilmente disponível (apesar de ser necessária energia para o produzir) e tem um elevado conteúdo energético.

O hidrogénio requer, contudo, pesados investimentos para a construção de instalações produtivas e um grande consumo de energia para produzi-lo.

A elevada temperatura de combustão encoraja a formação de óxidos de azoto. A sua elevada reactividade de combustão, velocidade e a larga variedade de ignição em misturas com o ar e o seu peso específico extremamente baixo fazem com que sejam necessários critérios de segurança muito rígidos para a construção das instalações que usam e transportam este gás.

Presentemente o seu uso em motores de veículos representa pouco mais que curiosidade tecnológica.

4.6.2 Produção e manuseamento

Entre os vários modos de produzir hidrogénio, obtê-lo a partir de hidrocarbonetos é o processo de larga escala menos dispendioso, enquanto a hidrólise de água é hoje a fonte de hidrogénio mais comum em instalações industriais. Muitas instalações foram implantadas visando a utilização da abundância de energia solar em algumas partes do mundo para produzir hidrogénio através de fotohidrólise.

Uma vez produzido, existem alguns problemas em armazenar o volumoso gás hidrogénio de um modo prático. Actualmente, quando se usam grandes quantidades de hidrogénio em lugares onde não é produzido, o hidrogénio líquido (HL) e o "methyl cyclo-hexan" (MCH) são as formas mais razoáveis de o manusear.

O hidrogénio pode ser produzido numa localização onde a energia hídrica é abundante e não se encontra melhor uso para ela, podendo ser uma região em desenvolvimento onde os enormes recursos hídricos são desenvolvidos para estações de produção de energia. Este gás é produzido através de hidrólise na estação eléctrica ou perto dela e é transformado lá numa das duas referidas formas, sendo depois transportado para a região onde é usado e distribuído.

A produção do combustível hidrogénio é de interesse principalmente num futuro pós-fóssil em que a energia baseada em fontes renováveis é abundante (ECCOTRAFFIC, 1992).

4.6.3 Utilização de hidrogénio líquido como combustível

O inconveniente de peso do reservatório em relação à gasolina é de cerca de 2 % para uma dada autonomia de condução. Existe um considerável inconveniente de volume (cerca de três vezes). Considera-se que a eficiência térmica do motor é cerca 15 % maior que para a gasolina, sendo o consumo de energia de 2.9 MJ HL / vkm¹⁵ (ECCOTRAFFIC, 1992).

¹⁵ vkm - veículo/quilómetro. Corresponde a um quilómetro realizado por um veículo. O vkm varia de modo para modo.

4.7 Biogás

4.7.1 Introdução

Os jazigos de gás natural constituem uma das mais importantes reservas de energia fóssil conhecida e também a mais repartida no mundo, mas o metano é também uma energia renovável, biogás, que poderá ser produzido em quantidades muito elevadas (milhares de m³ por dia ou mesmo por hora) (SOLAGRO, 1990).

O biogás pode ser um excelente combustível para motores, mas está sujeito às mesmas limitações que o etanol, utilizando no essencial o mesmo processo de produção e de matérias primas.

4.7.2 Propriedades do biogás

Dependendo da fonte, a composição do gás difere mas o principal componente será sempre o metano. O metano (CH₄), o hidrocarboneto mais leve, é o principal constituinte do gás natural (fóssil) bem como do gás "natural" originado a partir da biodegradação de matéria orgânica, vulgarmente designado biogás (ECOTRAFFIC AB, 1992). O biogás consiste essencialmente em metano e dióxido de carbono e tem um forte potencial energético, sendo a sua composição média a seguinte:

QUADRO 4.4 - Composição média do biogás

Natureza	Proporções
Metano CH ₄	60 %
Dióxido de Carbono CO ₂	40 %
Sulfito de Hidrogénio H ₂ S	a 5000 p.p.m.
Água H ₂ O	Saturação
PCS	6.61 KWh/Nm ³

Fonte: SOLAGRO, 1990.

O potencial energético deste gás pode ser melhorado até fazer dele um gás substituto do metano de origem fóssil: o gás natural de qualidade H. O biogás depois de depuração tem então a seguinte composição:

QUADRO 4.5 - Composição média do biogás depois de depuração

Natureza	Proporções
Metano CH ₄	98 %
Dióxido de Carbono CO ₂	2 %
Sulfito de Hidrogénio H ₂ S	< 7 p.p.m.
Água H ₂ O	-10°C a 200 bar
PCS	10.8 KWh/Nm ³

Fonte: SOLAGRO, 1990.

4.7.3 Produção de biogás

O biogás é produzido através de um processo microbiológico anaeróbico de matéria orgânica. As matérias-primas potenciais incluem efluentes, estrume de animais, lixo doméstico, colheitas da agricultura.

O biogás pode ser produzido a partir de uma grande variedade de fontes desde que elas contenham matéria orgânica. Quase qualquer espécie de matéria orgânica pode ser usada para produzir biogás, segundo as condições correctas. Na prática, as fontes principais são os efluentes e o estrume de animais. Grandes instalações de biogás produzem energia para fazer funcionar motores e outros tipos de equipamento, mas isto representa muitas vezes apenas uma pequena porção da energia potencial disponível.

QUADRO 4.6 - Potencial de energia do biogás a partir de resíduos orgânicos na Suécia (TWh/ano)

Fonte	Resíduos Sólidos	Resíduos Líquidos	Água Residual	Total
Indústria	1.0	0.3	1.0	3.1
Municipal	1.7	0.5	-	2.2
Agricultura	9.1	1.4	-	10.5
Total	11.8	2.2	1.8	15.8

Nota: 1 Tera (10^{12}) watt hora = 3.6 Penta (10^{15}) Joules.

Fonte: IEA, 1992.

Na teoria, o biogás que se pode obter a partir da agricultura e floresta é praticamente ilimitado e o processo de produção fácil de implantar. Contudo, os aspectos práticos e a economia de produção colocam muitas restrições na viabilidade da geração de biogás a partir da produção agrícola (IEA, 1992).

Não é realista considerar que um grande número de veículos venham a ser abastecidos com gás a partir de instalações de tratamento de efluentes. Apenas as culturas têm o potencial para grandes volumes de combustível e de serem introduzidas como uma fonte de combustível de motor numa grande escala comercial.

Isto significa que a cadeia do combustível biogás deve começar com o cultivo de biomassa, podendo a sua cadeia ser definida do seguinte modo:

- Cultivo/colheita de uma cultura adequada;
- Transporte e manuseamento de biomassa e resíduos;
- Conversão microbiológica;
- Purificação/Compressão;
- Distribuição.

Durante o processo de biogás incluindo o armazenamento da cultura, existirá também uma certa perda de biomassa, alguma da qual será perdida como metano para a atmosfera (ECOTRAFFIC AB, 1992).

O custo de produção de biogás é uma função da matéria-prima empregue, da capacidade do digestor e dos custos de purificação. No caso de um digestor capaz de produzir 1-2 MWh eram, em 1992, aproximadamente de \$0.10/kWh (\$27/GJ),

incluindo custos de cultivo e colheita de uma cultura, bem como custos de capital e de depreciação dos investimentos. Os custos de purificação incluem a preparação do gás para uma qualidade adequada para uso num veículo.

QUADRO 4.7 - Custos para a produção de biogás

	Custos \$/kWh	\$/GJ
Produção de biogás	0.07	19
Purificação do gás e compressão	0.03	8
Custos totais	0.10	27

Fonte: IEA, 1992.

O custo da produção de biogás é muito influenciado pela dimensão da instalação. A diferença entre uma instalação de 4 MW e uma de 0.5 MW variava, em 1992, entre US\$0.06/kWh e US\$0.1/kWh (\$16-27/GJ). Em comparação com o gás natural, o biogás é muito mais dispendioso como fonte de energia.

Os custos de produção de biogás dividem-se tipicamente do seguinte modo:

- Capital: 24 %
- Operação e manutenção: 15 %
- Distribuição: 20 %
- Cultura: 40 %

Se o biogás estiver disponível como um subproduto, como por exemplo numa instalação municipal de tratamento de águas residuais, os custos de produção estarão limitados aos custos de purificação. Similarmente, os agricultores estão em posição de produzir biogás de baixo custo (IEA, 1992).

O biogás é, como possível produto combustível de motor, consideravelmente comprimido (ECOTRAFFIC AB, 1992).

4.7.4 Tecnologias de produção de biogás

O processo orgânico de transformação de biomassa em metano é geralmente referido como "digestão" dado que este processo tem muito em comum com as funções que ocorrem nos sistemas digestivos humanos e animais. O equipamento usado toma, assim, a designação de digestor, sendo basicamente um recipiente dentro do qual a matéria-prima biomassa é colocada e mantida numa temperatura adequada para a actividade microbiológica máxima. O "design" de um processo de digestão de matéria orgânica depende do tipo de matéria-prima.

A eficiência da geração de gás depende da relação entre o tempo de permanência da biomassa dentro do digestor e a taxa de actividade microbiológica. É necessário equilibrar cuidadosamente a taxa de carga, temperatura de operação, níveis de PH e vários outros parâmetros do processo químico a fim de assegurar a geração máxima de gás e evitar a descarga prematura de boa matéria-prima.

Numa grande instalação pode existir um conjunto de digestores de modo a que alguns estejam ainda a gerar gás, enquanto outros estão a ser limpos e recarregados. Deste modo, pode ser obtida uma oferta global relativamente constante.

Durante os últimos anos tem sido conduzida I&D sobre um processo contínuo de dois passos. Durante o primeiro passo, a matéria orgânica é dividida em componentes hidrocarbonetos menos complexos no digestor de hidrólise, passando depois para um segundo digestor onde o metano é gerado.

A vantagem do processo de duas fases é que é possível obter um biogás de maior qualidade, ou seja, com cerca de 70 % a 75 % de conteúdo em metano, comparado com os 50 % a 55 % do processo de um único passo. Contudo, o processo contínuo de um passo é uma tecnologia bem conhecida e provada, ao contrário do processo de dois passos, que não está ainda desenvolvido para uso em grande escala (IEA, 1992).

4.7.5 Tecnologia de purificação

O biogás recuperado de um digestor contém metano, dióxido de carbono, sulfitos e vapor de água. O gás deve ser purificado antes de ser usado como combustível em veículos. Durante o processo de purificação o dióxido de carbono é removido para aumentar a densidade energética do gás combustível.

A "limpeza da água" e a "separação por membrana" são os métodos mais comuns para remover o dióxido de carbono e o sulfito de hidrogénio. A "limpeza da água" usa uma torre purificadora na qual o gás, levemente comprimido, passa para cima enquanto a água passa na direcção oposta. O hidróxido de sódio (NaOH) é adicionado à água de lavagem e a reacção resultante com o CO₂ produz carbonato de sódio. O método é simples, bem provado e aplicável a operações de grande ou de pequena escala, sendo possível remover quase todo o dióxido de carbono do biogás.

A "separação por membrana" baseia-se na diferença da pressão parcial do metano e dióxido de carbono ao longo de uma membrana que consiste em fibras poliméricas. Quando o fluxo de gás passa pela membrana os gases mais densos são separados dos menos densos. A "separação por membrana" tem provado ser o método de purificação de biogás mais económico em operações de grande escala. Para instalações mais pequenas, ou seja, abaixo de 50m³/hora, a "limpeza da água" é ainda economicamente favorável.

Um método alternativo de remover a contaminação de enxofre é passar o gás através de um filtro que consiste em madeira e limalhas de ferro. Um projecto de biogás em Estocolmo gera biogás contendo 65 % a 75 % de metano e 23 % a 35 % de dióxido de carbono e mais contaminantes vários incluindo azoto, hidrogénio e monóxido de carbono. Depois da purificação, o gás contém entre 93 % a 98 % de metano e entre 1 % a 4 % de dióxido de carbono. O conteúdo de H₂S é reduzido de entre 0.001 % e 0.1 % para menos de 0.0001 % (IEA, 1992).

4.8 Óleo Vegetal

O óleo vegetal é produzido a partir de várias espécies de plantas. A planta de óleo mais comum para uso em veículos no noroeste europeu é a colza e o RME (rapeseed oil methylester) o produto combustível final a partir da semente de colza. O valor calorífico de RME é 32.7 MJ/L e a sua densidade a 20° C é 0.88 kg/l. O RME pode apenas ser usado em motores "Diesel", não sendo necessárias alterações aos motores existentes para o usar.

O cultivo e a colheita constituem o primeiro passo na cadeia do combustível. Este processo necessita de fertilizantes fósseis, químicos (pesticidas) e combustíveis. A energia para a fase de cultivo da cadeia é cerca de 30 % da energia do combustível final.

A extracção do óleo de semente de colza não é complicada e é feita através de pressão. O óleo tem de ser, depois, refinado e finalmente trans-esterificado a fim de obter propriedades físicas tão semelhantes quanto possível às do gasóleo. É possível usar o óleo como combustível de veículo, mas não é adequado para uso comercial numa grande escala(ECCOTRAFIC AB, 1992).

4.9 Gasolinas e gasóleos sintéticos produzidos a partir do gás natural

4.9.1 Introdução

O gás natural natural é abundante e muitas vezes barato, pelo que há interesse em transformá-lo em combustíveis líquidos. Quando encontrado demasiado longe de um mercado poderá valer pouco, mas se for convertido em gasolina ou gasóleo é obtido um produto com um valor mais elevado, fácil de transportar e vender. A medida usual para a exploração de instalações de conversão de gás é o preço do petróleo para o qual elas se tornam competitivas. A recompensa de um eficiente processo de conversão de gás tem tentado as principais companhias petrolíferas durante anos, mas existem indicações de que está agora a ser feito um significativo progresso técnico. A Mobil e a Shell têm estado interessadas nesta área.

O desenvolvimento de combustíveis líquidos sintéticos provenientes do gás natural prende-se geralmente com a exploração de reservas de gás que não têm saída imediata. As fábricas de síntese poderão, assim, dar valor a um recurso de gás não económico, embora em muitos casos o valor seja ainda considerado baixo devido ao elevado custo de capital para conversão e à concorrência dos produtos de petróleo.

4.9.2 Produção de gasolinas e gasóleos sintéticos

Estes combustíveis podem ser fabricados a partir do gás natural através de duas técnicas de produção. Uma requer a produção de metanol como fase intermédia, a outra usa uma reacção catalítica Fisher-Tropsch para produzir hidrocarbonetos directamente a partir de um gás sintético, composto por uma mistura de monóxido de

carbono e hidrogénio. O processo apenas pode ser levado a cabo, economicamente, em grandes instalações capital-intensivas.

Principais Produtores

Correntemente, existe apenas uma fábrica que opera em gasolina sintética a partir de gás natural: a unidade Mobil na Nova Zelândia que produz 14 000 - 15 000 barris por dia de gasolina a partir de cerca de 150 milhões de pés cúbicos de gás natural. O projecto foi concebido depois do segundo choque petrolífero em 1980, tendo sido tomado em consideração a ideia de que os preços cresceriam nos anos 80, numa altura em que a Nova Zelândia necessitava desesperadamente de libertação da elevada dependência do petróleo estrangeiro. A Mobil (75 %) e o seu associado, o governo de Nova Zelândia (25 %), experimentaram um elevado custo na fábrica, que começou as operações em Outubro de 1985.

A fábrica de Nova Zelândia converte primeiro o gás em Metanol e depois em gasolina de alta qualidade. Devido ao facto de a conversão ser um processo de dois passos, é apenas 54 % termicamente eficiente.

A segunda fábrica de conversão sintética à escala mundial é a unidade da Shell na Malásia, que possui uma grande ajuda económica por partilhar a infraestrutura de gás já existente. Tomou a sua decisão de seguir em frente com a instalação SMDS¹⁶ em Agosto de 1989 quando os preços do petróleo estavam baixos, o que dava uma considerável confiança na economia do processo.

A instalação da Shell é totalmente diferente da fábrica de gasolina sintética da Mobil. O seu processo de conversão em três passos resulta numa mais alta eficiência térmica e uma maior selectividade de produtos.

O baixo custo de capital é uma das razões para que a Shell tenha grandes esperanças na sua operação. Uma outra vantagem é a da eficiência térmica, de 60-65 % para o processo da Shell contra 54 % para o da Mobil. A SMDS, quando estava a iniciar o quarto trimestre de 1992, tinha uma eficiência térmica de cerca de 63 %.

Tecnicamente, os dois processos têm poucas semelhanças. Na síntese da instalação da Mobil, o gás natural é transformado num gás sintético (uma mistura de monóxido de carbono e hidrogénio), que é depois convertido em Metanol contendo cerca de 17 % de água. O Metanol é parcialmente desidratado e enviado para um reactor de conversão, que produz uma mistura de 44 % de hidrocarbonetos e 56 % de água. Os hidrocarbonetos são extraídos e destilados para obter produtos pesados, leves e gasolina.

No processo da Shell, o gás é convertido em gás sintético que é depois convertido em parafinas pesadas, através dum processo catalítico, num reactor Fischer-Tropsch. O líquido resultante é tratado através de um processo hídrico para

¹⁶SMDS - Shell Middle Distillate Synthesis.

formar produtos destilados médios, especialmente gasóleo, kerosene e nafta, que são depois fraccionados. O gasóleo e o kerosene constituem 75-85 % do produto.

Existem outras companhias a trabalhar em processos similares ao da Shell. A Exxon está a investir no desenvolvimento de tecnologia de conversão e o seu processo baseia-se também na conversão Fischer-Tropsch.

A "British Petroleum" interessa-se por objectivos mais ambiciosos, pois apesar da companhia oferecer informação insuficiente, existem comentários de que está a trabalhar num processo de conversão directa de gás em gasolina. Eliminando o passo intermédio do metanol do processo da Mobil serão possíveis consideráveis ganhos de eficiência com a conversão directa. Apesar de os concorrentes considerarem que os problemas técnicos são desencorajadores a investigação na melhoria de eficiência do processo Fischer-Tropsch poderá trazer maiores recompensas.

Outras áreas que são consideradas candidatas para uma instalação são a Indonésia, onde os recursos de gás são grandes e a oferta de petróleo diminui e as Caraíbas. A Shell também delineou alguns projectos SMDS na Nigéria e um baseado nas vastas reservas da bacia da Amazónia no Brasil.

Com grandes reservas, a Statoil da Noruega está, desde 1986, a estudar a possibilidade de instalação de uma unidade de síntese de produtos destilados, acreditando que a instalação comercial poderá estar a funcionar por volta de 1996-97. A companhia diz ter obtido bons resultados com um reactor experimental de mistura semi-líquida, no seu centro de investigação de Trondheim.

4.9.3 Utilização de combustíveis sintéticos em veículos

Os produtos destas instalações podem ser misturados com os combustíveis similares derivados do petróleo e distribuídos exactamente da mesma maneira, não sendo necessárias modificações nos veículos para que funcionem como combustíveis sintéticos.

4.10 Comparação de combustíveis alternativos

4.10.1 Comparação de preços

A economia de cada combustível alternativo de transporte depende do custo de produção e do custo adicional de distribuição e uso final. Os custos de produção, por sua vez dependem da abundância ou escassez de recursos a partir dos quais o combustível é produzido, bem como da tecnologia que está disponível para extrair os recursos. O custo adicional de distribuição e uso final depende da extensão em que estão já instalados meios para distribuir o combustível (IEA,1990).

**QUADRO 4.8 - Custos Comparativos
de combustíveis substitutos**

Combustível	Custo Global (Dolares de 1987 por barril - energia equivalente de gasolina)
Petróleo bruto	\$18
Gasolina convencional	\$27
GNC	\$20-46
Produtos VHO	\$21-34
Metanol (a partir do gás)	\$30-67
Gasolina sintética (a partir do gás)	\$43-61
Gasóleo (a partir do gás)	\$69
Metanol (a partir do carvão)	\$63-109
Metanol (a partir da biomassa)	\$64-126
Etanol (a partir da biomassa)	\$66-101

Fonte: IEA, 1990.

De acordo com o quadro anterior, os produtos de GNC e VHOs (very heavy oils) podem ser economicamente concorrentes com a gasolina convencional. O metanol e a gasolina sintética produzida a partir do gás natural podem ser quase competitivos, de acordo com as considerações otimistas do preço do gás. O metanol a partir do carvão ou biomassa e o etanol a partir da biomassa têm um custo que é pelo menos o dobro do da gasolina aos preços correntes do petróleo e com a tecnologia corrente.

Uma conversão para combustíveis alternativos necessitará de investimento significativo em novo equipamento de produção e distribuição, podendo existir também problemas associados à aplicação de tecnologias que não sejam familiares numa grande escala e num ambiente de mercado incerto. Por isso, antes que essa utilização de recursos ocorra, os preços do petróleo devem ter aumentado significativamente ou o desenvolvimento tecnológico deve ter tornado as alternativas menos dispendiosas.

Existem indicações de que o custo da maior parte das opções de combustíveis alternativos poderá ser substancialmente reduzido através do desenvolvimento de novas e melhoradas tecnologias. Dado o potencial dos combustíveis alternativos para aumentar a segurança energética, os mais elevados custos destes combustíveis apresentam uma oportunidade para a investigação, desenvolvimento e demonstração adequadamente orientados (IEA, 1990).

Um outro resultado importante é a relação entre os preços do petróleo convencional, o gás natural e os combustíveis alternativos. Se um dado país ou companhia produz petróleo e gás, poderá vender o seu gás de modo a maximizar as vendas totais dos dois combustíveis, o que pode, por sua vez, afectar o preço de mercado do metanol a partir do gás natural.

Os preços futuros de retalho esperados dos diferentes combustíveis são apresentados no quadro seguinte:

QUADRO 4.9 - Preços estimados de retalho para combustível de reabastecimento público (US\$/galão de gasolina equivalente)

	1995	2002
Gasolina sem chumbo	US \$ 1.27	US \$ 1.39
Gasolina reformulada	1.27-1.43	1.56
Metanol (M85)	1.67	1.56-1.86
Etanol (E-85)	1.67-2.55	2.45
Gás Natural	0.92	1.01
Propano	1.13	1.22

Fonte: VAN DER WEIDE, J; SEPPEN, J, 1992.

A análise dos preços de combustível para os transportes é muitas vezes complicada devido aos elevados impostos e subsídios envolvidos. Na América estas influências sobre os preços de combustível são muito baixas. O preço do gás natural no quadro anterior inclui os custos de compressão e é ainda o mais baixo (VAN DER WEIDE, J; SEPPEN, J, 1992).

4.10.2 Armazenamento de combustíveis alternativos

O armazenamento de combustíveis alternativos dentro dos veículos tem consequências substanciais, particularmente no que respeita a combustíveis gasosos. O quadro seguinte mostra tais consequências no que respeita ao volume e ao peso, sendo usado como referência um autocarro de cidade, com uma autonomia de 500 km.

QUADRO 4.10 - Propriedades dos diferentes combustíveis

Tipo de combustível	Densidade kg/dm ³	Ponto de ebulição °C	Valor de aquecimento MJ/kg	Volume do Reservatório dm ³	Peso extra do veículo para 500 km kg	Segurança + / -
Gasóleo	0.83	150..360	42.5	200	-	+++
GPL	0.54	-50..0	46.1	340	140	--
GNC	0.14	-162	47.7	1270	900	-
Metanol	0.79	64.5	19.7	540	250	+
Etanol	0.92	78	26.8	400	130	++
Óleo vegetal	0.92		35.8	210	30	+++
Gasolina	0.73	25..110	43.5	270	40	+

Fonte: VAN DER WEIDE, J; SEPPER, J, 1992.

Segundo VAN DER WEIDE, J.; SEPPEN, J., 1992, podem ser utilizadas as seguintes técnicas para aumentar a capacidade do combustível de cilindros de armazenamento: reabastecimento muito rápido (injecção rápida), mistura com propano ou butano, adsorção em material adequado.

Uma técnica que está a ser desenvolvida, é a adsorção de gás natural em material apropriado (cerâmico, carbono activo) no cilindro. Usando esta técnica a capacidade do cilindro a 30 bar é a mesma que a capacidade de um cilindro sem material de adsorção a 200 bar. A vantagem disto é que pode ser usado um compressor com um rácio de pressão mais baixo ou os cilindros podem ser enchidos

sem compressor. O último utiliza-se quando está disponível gás com pressão suficientemente elevada (VAN DER WEIDE, J.; SEPPEN, J., 1992).

4.10.3 Eficiência de uso final dos combustíveis

O maior uso de VHOs poderá possivelmente ter um impacto negativo sobre a eficiência de uso final do veículo na ausência de tecnologia melhorada para o seu uso. A "performance" do motor com eles é geralmente comparável à dos combustíveis convencionais. Os produtos a partir dos VHOs são similares aos de petróleo convencional mas podem ter reduzida qualidade.

A conversão de veículos para gás natural comprimido pode tender para reduzir a eficiência do combustível, a não ser que haja um desenvolvimento de motores que sejam especificamente desenhados para o seu uso. O GNC é já usado bastante extensivamente em certos países e contextos regionais. Mas no presente, a "performance" do GNC em motores "Otto" modificados através de equipamentos de conversão (ou seja, motores de ignição de fâsca modificados) está abaixo da "performance" da gasolina em motores não modificados.

Por outro lado, a indústria está a começar a desenhar especificamente motores para uso de GNC e isto pode conduzir a uma maior eficiência e mais baixos custos comparados com as adaptações.

Apesar de terem mais baixo valor energético por unidade de volume que a gasolina, os combustíveis de álcool possuem melhores características de combustão para uso em motores "Otto". O desenvolvimento recente de FFVs, capazes de funcionar com qualquer mistura de álcool e gasolina, é significativo para ajudar a uma transição potencial para motores especificamente fabricados para usar álcool. Os veículos "fuel flexible" estão na fase de processo de frota e parecem ser operacionalmente satisfatórios, apesar de alguns resultados necessitarem de ser melhorados.

As propriedades dos combustíveis de álcool não são imediatamente favoráveis para a melhor eficiência do "Ciclo Diesel", mas foram agora obtidos resultados comparáveis aos obtidos com gasolina convencional. A tecnologia está menos desenvolvida que para os motores "Otto", mas estão a ser empreendidos vários processos de pequena escala.

O motor a metanol desenhado para fazer uso completo das propriedades do álcoois, é ainda só um conceito, mas também uma área onde as actividades de I&D devem ser centradas. Em geral, o uso de motores a metanol deve esperar o estabelecimento de uma infra-estrutura para a distribuição de metanol. Contudo, eles podem ser introduzidos inicialmente em frotas centralizadas.

Ninguém produzirá veículos especiais se não existir combustível alternativo disponível e ninguém produzirá um combustível alternativo se não existirem veículos disponíveis para o usar. Este problema de "marketing" pode ser ultrapassado através de investigação e desenvolvimento e desenvolvimento de FFVs nos quais tanto um combustível alternativo como um combustível convencional pode ser usado.

Os potenciais obstáculos para o "marketing" dos combustíveis alternativos são numerosos. Do lado da oferta, estes incluem preço do combustível, disponibilidade, padronização e segurança. No que respeita ao uso final, eles incluem o preço do veículo, "performance", otimização e segurança. Os regulamentos ambientais, cujo objetivo não é promover o papel dos combustíveis alternativos per se, poderão também desempenhar um papel importante.

Dado o número e complexidade dos obstáculos para trazer novos combustíveis para o mercado, os esforços de investigação e desenvolvimento devem ser centrados em alternativas que não tenham apenas méritos técnicos, mas também o potencial de ultrapassar estes obstáculos (IEA, 1990).

4.10.4 Características ambientais dos combustíveis substitutos

As emissões de partículas dos veículos são um dos principais factores a considerar na avaliação dos relativos méritos ambientais dos combustíveis alternativos. O gasóleo a partir de VHO, tem, em geral, uma emissão de partículas mais elevada (fumo) que o gasóleo baseado no petróleo, GNC ou combustível de álcool. Os Estados Unidos e o Canadá estão a criar regulamentos mais rigorosos para limitar as emissões de partículas e a Suécia e Suíça têm também planos firmes nesse sentido. Se as preocupações ambientais persistirem outros países poderão, eventualmente, adoptar regulamentos similares.

A combustão de gás natural em veículos resulta em menores emissões de hidrocarbonetos e monóxido de carbono, mas levantam-se algumas questões quanto aos níveis de óxidos de azoto. Tem sido empreendido um estudo relativamente pequeno nesta área, sendo necessário mais trabalho sobre combustão e catalisadores adequados.

Em princípio as emissões dos combustíveis de álcool devem ser mais baixas que as da gasolina ou gasóleo. Os resultados disponíveis para o presente mostram que os combustíveis de álcool podem reduzir as emissões de ozono em motores do "Ciclo Otto" porque as emissões de escape e evaporativas são menos reactivas, mas isso necessita ainda de ser confirmado.

As emissões de partículas de motores de compressão/ignição podem também ser grandemente reduzidas através do uso de metanol. Por outro lado, será necessária muita investigação e desenvolvimento para que o metanol possa preencher o seu potencial teórico para reduções de emissões com um custo razoável. Poderá ser possível reduzir os custos de controle de emissão para combustíveis de álcool abaixo dos custos dos combustíveis convencionais. Contudo, a questão do controle do formaldeído necessita de ser resolvida, tanto através de afinação dos motores ou do uso de um catalisador de oxidação simples.

A queima de GNC e de metanol terão as mais baixas emissões de gases de efeito de estufa. Considera-se que tanto a biomassa como os combustíveis baseados no gás natural são mais benignos ambientalmente que os combustíveis derivados do petróleo. Contudo, mantêm-se ainda grandes incertezas acerca dos méritos relativos

do ciclo dos combustíveis alternativos e dos seus impactos ambientais. Antes que o uso de qualquer combustível seja expandido em termos ambientais, será útil compreender melhor estes impactos (IEA, 1990).

5. IMPACTE AMBIENTAL NO SECTOR DOS TRANSPORTES

5.1 Introdução

O elevado consumo de combustíveis fósseis resulta numa contínua produção de grandes quantidades de poluentes, os quais, juntos com os que são produzidos pelos processos industriais e pelo aquecimento doméstico, são emitidos para a atmosfera, particularmente em áreas muito urbanizadas. A situação é tal que a saúde humana está em perigo e até a vegetação e monumentos antigos estão já ameaçados.

Substâncias como HC, CO, NO_x, CO₂, SO_x e partículas que há vinte anos atrás eram conhecidas apenas por químicos de laboratório têm-se tornado um assunto de grande interesse e estão no primeiro plano da atenção do público, porque a sua concentração na atmosfera excede muitas vezes o nível de perigo.

O sector dos transportes tem-se tornado também a principal fonte de poluição em cidades. 66 % das emissões de CO, 74 % das emissões de HC, 36 % das emissões de NO_x são geradas por veículos ligeiros que circulam em áreas urbanas e a contribuição do transporte rodoviário em chuvas ácidas é estimada em 30 % (PEYREBONNE, 1992).

Consequentemente, apesar de não serem os únicos responsáveis pela poluição atmosférica, os veículos detêm uma responsabilidade significativa. Como resultado, os governos dos países mais afectados pelo problema estão continuamente a tentar encontrar alternativas válidas para a gasolina e o gasóleo.

Desde os anos 70, muitos países têm passado leis e regulamentos num esforço de estabilizar, ou mesmo reverter, a deterioração da qualidade do ar. Contudo, estas normas tiveram apenas o efeito líquido de diminuir o ritmo de crescimento de emissão de poluentes, pois o problema ainda persiste.

Será necessária uma cooperação mundial para tratar, efectivamente, dos problemas de qualidade do ar, pois a poluição atmosférica não está restringida a diferentes bandeiras geo-políticas. Para o sector dos transportes, que inclui tanto combustíveis como veículos, isto significa uma melhor execução dos regulamentos e políticas nacionais existentes e uma implantação rigorosa de acordos internacionais.

É reconhecido que as presentes normas de emissão são insuficientes para reverter a tendência dos crescentes danos ambientais e de saúde. Terão de ser adoptados padrões muito mais rigorosos. No futuro, os compostos tóxicos serão também provavelmente regulamentados (IEA, 1992).

5.2 Medidas de luta contra a poluição causada pelos transportes rodoviários

Existem hoje várias medidas disponíveis para lutar contra esta forma de poluição, dependendo a eficácia de cada uma de factores que não podem ser sempre precisamente controlados e em alguns casos envolvem elevados custos. As soluções disponíveis podem ser divididas em quatro categorias:

- melhoria das características dos combustíveis tradicionais;
- medidas para reduzir as emissões originadas em motores que usam combustíveis tradicionais;
- outros sistemas de transporte;
- combustíveis alternativos.

5.2.1. Melhoria dos combustíveis tradicionais

No que respeita à melhoria dos combustíveis tradicionais, têm sido consideradas as seguintes medidas:

- gasolina sem chumbo, com adição de hidrocarbonetos mais pesados;
- gasolina sem chumbo, com adição de álcool;
- gasóleo reformado, mais leve e sem enxofre.

As tão chamadas "gasolinas verdes", criadas para eliminar o chumbo na atmosfera e com a adição de hidrocarbonetos complexamente estruturados, requerem conversores catalíticos para tratar os fumos que de outro modo poderão ser mais nocivos que os produzidos por gasolina contendo chumbo tetraetilico. Outros aditivos são muitas vezes dispendiosos e nem sempre existe disponibilidade em quantidades suficientes.

Os laboratórios têm produzido novos gasóleos sem enxofre, que são mais leves e capazes de queimar melhor. Estes produtos podem indubitavelmente atenuar o impacto sobre o ambiente, mas não eliminam a desvantagem de poder produzir fumos negros, quando não convenientemente queimados.

5.2.2. Tecnologias para reduzir as emissões

As medidas tecnológicas adoptadas para reduzir as emissões são as seguintes:

- Conversores catalíticos;
- Armadilha renovável para partículas;
- Recirculação de gás de escape (Exhaust gas recycling -EGR);
- Carburacção com uma mistura pobre.

Estas medidas visam reduzir as emissões de poluentes dos motores sem modificar os combustíveis tradicionais.

Os conversores catalíticos representam um meio válido de reduzir a emissão de substâncias poluentes dos motores do "Ciclo Otto" alimentados por misturas estequiométricas. Os mais difundidos são os conversores "three-way" que eliminam

simultaneamente o CO, o HC e os NO_x. Têm, contudo, desvantagens técnicas, uma vez que a carburação deve ser controlada com precisão, pois de outro modo o veículo estará sujeito a um rápido decréscimo de resultados. A sua vida activa deve ser continuamente verificada dado que é também afectada pelas contínuas variações de temperatura devido ao descontínuo uso dos motores dos veículos.

A tecnologia moderna tem também desenhado "armadilhas especiais", que constituem filtros que podem apanhar as mais pequenas partículas emitidas pelos motores a gasóleo e que são a principal causa dos fumos negros. Infelizmente, contudo, o carbono acumula-se nos buracos do filtro devendo este equipamento ser renovado através de um sistema intermitente de combustão do carbono, pelo que é necessária a instalação de dois filtros em paralelo para assegurar uma filtragem contínua.

As "armadilhas" são uma boa medida selectiva contra a poluição dado que são feitas com materiais capazes de resistir durante longos periodos a frequentes mudanças de temperatura às quais estão sujeitos.

A redução dos NO_x por meio de recirculação parcial do gás de escape (EGR) é potencialmente interessante mas está a provar ser de difícil implantação, porque existem problemas de duração com este sistema, particularmente para motores pesados.

As investigações mostram que os motores do "Ciclo Otto" que funcionam com uma mistura ar-combustível pobre, ou seja, com pouco combustível, podem reduzir as suas emissões de poluentes.

Não é, contudo, possível reduzir todas as emissões de poluentes simultaneamente com este sistema dado que ele afecta, por exemplo, o CO e o NO_x, de maneira diferente. Para a combustão com mistura pobre, por consequência, é necessário que seja instalado um tubo de escape catalítico oxidizante para dar uma eficiência total.

5.2.3. Outros sistemas de transporte

Os impactes ambientais dependem da diversificação dos sistemas de transporte. Normalmente, verifica-se uma predominância de modos rodoviários. É importante a introdução dos seguintes sistemas:

- tracção eléctrica (carros eléctricos, autocarros "trolley");
- tracção de dois sistemas (bi-modo: tracção "Diesel"+tracção eléctrica).

Tracção eléctrica

A tracção eléctrica, tanto privada como pública, é um meio muito eficiente de reduzir as emissões de poluentes a um nível local sendo, por isso, ideal em cidades. Os veículos eléctricos e os autocarros "trolley" emitem poucas substâncias poluentes: apenas as produzidas pelas baterias durante os ciclos de carga e descarga e o ozono gerado pela ignição por faísca eléctrica. O ciclo produtivo de baterias de chumbo tem, contudo, um impacto ambiental negativo a vários níveis.

A maioria (60-70 %) da energia eléctrica consumida por estes meios de transporte é produzida em instalações termoeléctricas onde as emissões de uma certa quantidade de poluentes são inevitáveis. O armazenamento desta forma de energia em veículos é dispendioso e inconveniente devido ao custo, peso e dimensão das baterias. A construção de cabos eléctricos nas cidades é também dispendiosa e danifica a já ameaçada arquitectura dos centros da cidade.

Por vezes mais de 10 % da energia produzida nas instalações eléctricas é perdida ao longo das linhas da rede de distribuição.

Tracção de dois sistemas

Existe também um sistema de tracção para transporte público que consiste num veículo especial equipado com um motor a gasóleo a circular a uma velocidade fixa a concorrer com um motor eléctrico. Este sistema reduz as desvantagens mencionadas mas não resolve o problema, envolvendo um certo grau de complexidade de equipamento para o veículo. A implantação deste sistema é bastante dispendiosa e não é compensada, devido aos resultados atractivos da tracção eléctrica pura.

5.2.4. Combustíveis alternativos

Entre as medidas adoptadas para lutar contra a poluição atmosférica existem também os vários combustíveis alternativos já referidos. O termo "combustíveis alternativos" refere-se normalmente aos seguintes produtos:

- metanol e éteres derivados;
- etanol e éteres derivados;
- GPL;
- biogás;
- GNC.

5.3 Impacte ambiental de uma transição dos combustíveis actuais para o gás natural

5.3.1 Introdução

As emissões de veículos são quantificadas de vários modos, dependendo do tipo de veículo. Para veículos ligeiros as emissões são normalmente expressas em gramas por quilómetro, g/km (ou gramas por milha, gpm). Para veículos pesados, as quantidades de emissões estão geralmente relacionadas com o output da energia mecânica do motor. Por convenção a unidade de energia kwh é usada para este trabalho mecânico e as emissões de veículos pesados são, assim, normalmente expressas em gramas por kilowatt-hora de trabalho mecânico.

As emissões variam de acordo com o modo como o motor trabalha e com o facto de se tratar de um veículo ligeiro ou pesado (ECOTRAFFIC AB, 1992).

5.3.2 Métodos de Teste

Foram desenvolvidos diferentes métodos de teste em todo o mundo com a função de comparar emissões de escape e criar um instrumento para legislação. São usados dois tipos básicos de métodos de teste: os "transient" e os "steady state".

Os ciclos de teste "steady state" aplicam-se especialmente em países em desenvolvimento dado que podem ser implantados com custos relativamente baixos comparados com os ciclos de teste "transient" desenvolvidos pelos Estados Unidos da América.

Todos os ciclos de teste foram criados para representar ciclos típicos de operação rodoviária, sendo os mais usados e mais criticados os métodos "U.S. Federal Test Procedure"(FTP) e "Economic Commission for Europe, Regulation 49"(ECE R49). O FTP é o método norte americano para certificar um veículo a fim de obter aprovação para o seu uso. A crítica está relacionada com o ênfase dado aos modos de operação do motor que são raramente vistos em serviço actual.

QUADRO 5.1 - Ciclos de teste de emissão geralmente utilizados

Transient	Steady State
FTP (U.S. Federal Test Procedure)	ECE R49 (Economic Commission for Europe, Regulation 49)
New York Bus Cycle	ECE R15
	U.S. 13 mode
	Japanese 6 mode
	Japanese 10 mode
Braunschweig	Uppsala bus cycle

Fonte: IEA,1992.

No caso de motores pesados, um ciclo FTP demora 20 minutos a executar e deve ser efectuado três vezes. O primeiro teste é um arranque a frio (abaixo de 20° C), seguido de um teste com um motor quente exactamente 20 minutos depois do teste de arranque frio ter terminado. Os resultados consistem numa soma ponderada dos resultados de arranque a frio (1/7) e a quente (6/7). Os regulamentos norte americanos cobrem o monóxido de carbono, os hidrocarbonetos, óxidos de azoto e emissões de partículas.

O ECE R49 (Economic Commission for Europe, Regulation 49) é um ciclo "13 mode" estacionário. Este modo é usado para legislação na Europa bem como outras partes do mundo. O método inclui três medições efectuadas em 13 situações diferentes (o "relantim" é medido três vezes). Todos os modos são modos quentes. O motor funciona durante seis minutos em cada ponto velocidade/carga, dos quais apenas o último minuto é contabilizado. O Japão tem um teste de ciclo "six mode" que é conduzido de um modo similar.

Os países da Europa Ocidental, especialmente os da CEE, adoptaram todos o método de teste ECE 49. Porém, os padrões individuais não são comparáveis entre países, mesmo entre aqueles que empregam a mesma abordagem, pois podem existir diferenças no respectivo processo de teste ou classificação do veículo ou motor.

5.3.3 Emissões regulamentadas

As emissões regulamentadas de veículos têm a ver com alguns grupos de componentes que foram considerados negativos para o ambiente e vida orgânica (especialmente humana). Os regulamentos variam entre países e entre tipos de veículos.

As normas ou linhas guia para a qualidade do ar são frequentemente excedidas, especialmente ao longo de estradas muito utilizadas.

O perfil das emissões de escape não é apenas uma função do nível de combustível, sendo também função do "design" e calibração do motor bem como do sistema de controle de emissão.

Existe uma tendência para padrões de emissão cada vez mais rigorosos, estando a ser impostos padrões que restringem os níveis de emissão máximos, que podem incluir hidrocarbonetos (HC), monóxido de carbono (CO), óxidos de azoto (NO_x) e em alguns casos as partículas. Contudo, existe ainda um grande grau de diversidade na abordagem e padrões estabelecidos por diferentes países.

Verifica-se ainda uma grande discrepância em normas de emissão entre diferentes países em todo o mundo. As recentes iniciativas reguladoras dos Estados Unidos, em especial da Califórnia, estão a dar um maior ímpeto ao desenvolvimento do motor a gás natural.

Os países da América do Norte (Estados Unidos da América e Canadá) têm procurado desenvolver padrões de emissão específicos, por combustível. Estes incluem, correntemente, gasolina e gasóleo, bem como metanol nos Estados Unidos da América. Em 1992, apenas o estado da Califórnia tinha adoptado padrões de emissão específicos para veículos pesados a gás natural.

Nos Estados Unidos, as recentes reformas ao "Clean Air Act" (CAA) impõem normas mais rigorosas para novos veículos, a adoptar, efectivamente, em 1994.

QUADRO 5.2 - Comparação dos padrões de emissão de um veículo de passageiros segundo o "Clean Air Act" (Tier1)

	"US Clean Air Act Amendments" (1994)		
Constituintes de Emissões	Estados Unidos da América em 1992	A 50000 Milhas (g/milha)	A 100000 Milhas (g/milha)
THC	0.41	0.41	0.41
NMHC	Nenhum	0.25	0.31
CO	3.4	3.4/10.0 (1)	4.2
NO _x	1.0	0.4	0.6

(1) Padrão de temperatura fria em -7 ° C.

Fonte: IEA,1992.

O quadro seguinte resume as futuras normas de emissão da América para motores pesados.

QUADRO 5.3 - Diferença entre os padrões de emissão do "Clean Air Act" de 1990 para autocarros urbanos e Camiões

Motor pesado de autocarro urbano Padrões de emissão (g/kW-hora medidos durante o teste de motor da EPA)					Motor pesado de camião Padrões de emissão (g/kW-hora medidos durante o teste de motor da EPA)				
Modelo					Modelo				
ANO	NO _x	HC	CO	PM	ANO	NO _x	HC	CO	PM
1990	8.4	1.74	20.8	0.80	1990	8.4	1.74	20.8	0.80
1991	6.7	1.74	20.8	0.34	1991	6.7	1.74	20.8	0.34
1994	6.7	1.74	20.8	0.13	1994	6.7	1.74	20.8	0.13
1998	6.7	1.74	20.8	0.07	1998	5.36	1.74	20.8	0.13

Fonte: VAN DER WEIDE, J; SEPPEN, J, 1992.

A legislação europeia futura é apresentada no quadro seguinte. Especialmente os níveis de 1994, para autocarros urbanos são muito baixos. Espera-se que seja necessário, no futuro equipamento dispendioso (armadilhas para partículas) para motores "Diesel".

QUADRO 5.4 - Legislação europeia para motores de autocarros e camiões

Teste europeu "13-mode" (gramas/kW)
Modelo

ANO		NO _x	HC	CO	PM
1993	EURO 1	8.0	1.1	4.5	0.36
1996	EURO 2	7.0	1.1	4.0	0.15
1999*	EURO 3	4.0	0.6	0.6	0.15

* Valor esperado.

Fonte: VAN DER WEIDE, J; SEPPEN, J, 1992.

As tão conhecidas normas EURO 3 ainda não existem, esperando-se que os motores "Diesel" sejam capazes de respeitar estes regulamentos quando entrarem em vigor.

O estado da Califórnia considerou recentemente planos para os fins dos anos 90 e para o próximo século. O veículo de baixa emissão (LEV¹⁷) e o "Clean Fuel Plan" procuram reduzir ou eliminar as emissões de HC reactivos de todos os veículos independentemente do tipo de combustível.

O "Clean Fuel Plan" procura alcançar este objectivo encorajando a introdução de combustíveis "limpos", incluindo gás natural, através da introdução de normas não discriminatórias de combustível. O plano da Califórnia é especificamente criado para resolver os severos problemas do ozono e dos componentes tóxicos.

¹⁷ LEV - Low Emission Vehicle.

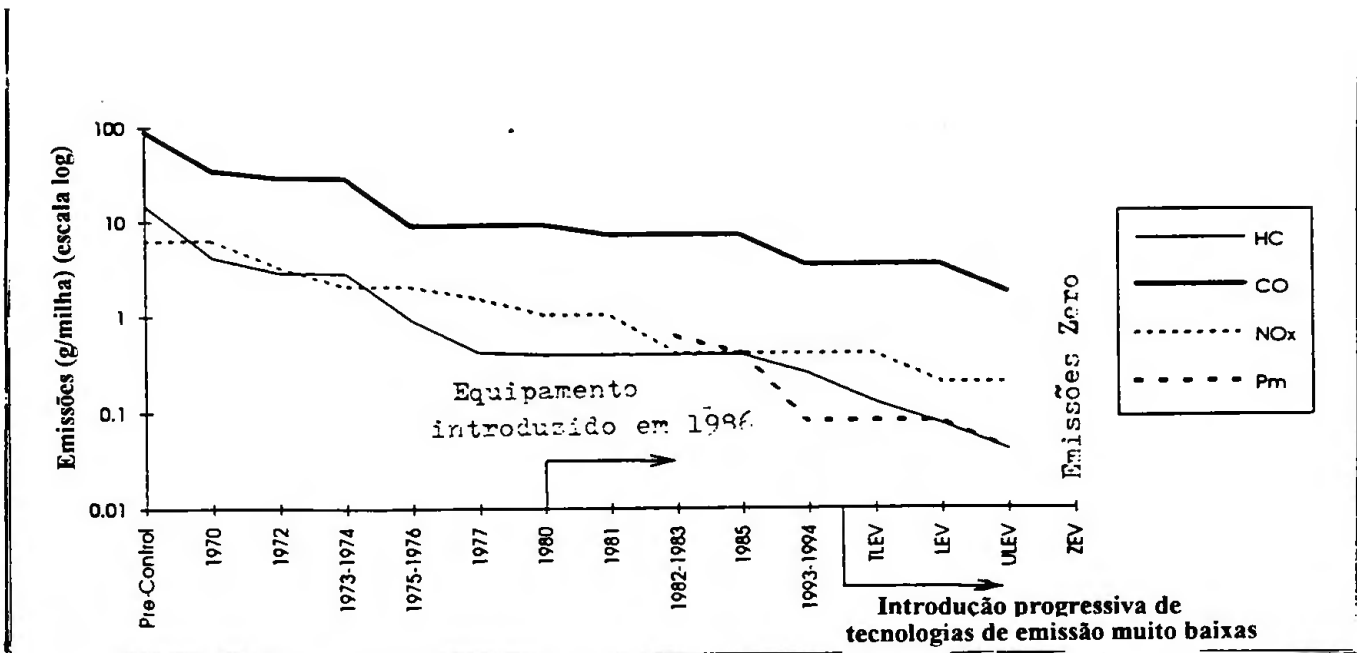


Figura 5.1. Orientações da legislação sobre emissões da Califórnia
Fonte: HEATON, D.; VAN DER WEITE, J., 1993.

Segundo o plano LEV, seria utilizada uma norma de gás orgânico sem metano (NMOG¹⁸) no lugar do específico padrão de combustível NMHC¹⁹ (Hidrocarbonetos sem metano). A fim de igualar o impacto na qualidade do ar de diferentes combustíveis, a porção medida de NMOG do gás de escape seria ajustada por um factor que considera a reactividade fotoquímica do escape. O factor líquido de NMOG para um dado tipo de combustível seria o produto destes dois números. Este factor NMOG líquido seria comparado com a norma para verificar concordância.

Esta abordagem procura limitar o potencial de formação de ozono de veículos movidos por diferentes tipos de combustível. Assim, um motor a gás natural beneficiaria, segundo este esquema, dado que a maioria do seu escape é composta por metano, conduzindo a um factor de ajustamento de baixa reactividade.

¹⁸ NMOG - Non-methane Organic Gas.

¹⁹ NMHC - Non-methane hydrocarbon.

QUADRO 5.5 - Padrões de emissão para um veículo de passageiros segundo o Plano da Califórnia (g/milha)

Categoria	NMOG	CO	NO_x	PM	Formaldeído
TLEV	0.125 (0.156)	3.4 (4.2)	0.4 (0.6)	(0.08)	0.015 (0.018)
LEV	0.075 (0.090)	3.4 (4.2)	0.2 (0.3)	(0.08)	0.015 (0.018)
ULEV	0.040 (0.055)	1.7 (2.1)	0.2 (0.3)	(0.08)	0.008 (0.011)

Notas:

- Padrões de 50000 milhas.
- () indica padrões de 100000 milhas.
- Todos os padrões estão em g/milha.
- Os padrões para partículas (PM) apenas se aplicam a veículos a gasóleo.
- TLEV²⁰ - veículo transicional de baixa emissão.
- LEV - veículo de baixa emissão
- ULEV²¹ - veículo de emissão ultra-baixa.

Fonte: IEA,1992.

De acordo com o plano LEV, seria dada aos fabricantes individuais liberdade para fabricar qualquer combinação de veículos que respeitasse a norma NMOG média de frota. Essa combinação de frota poderia consistir em veículos transicionais de baixa emissão (TLEV), veículos de baixa emissão (LEV), veículos de emissão ultra-baixa (ULEV) e veículos de emissão zero (ZEV²²). Apenas os veículos ligeiros teriam de manter uma fracção das vendas de pelo menos 10 % de ZEV por volta do ano 2003. Torna-se claro que os combustíveis alternativos (particularmente os combustíveis gasosos) necessitam menos de nova tecnologia para respeitar os regulamentos que os combustíveis mais convencionais.

5.3.4 Emissões de veículos a gás natural

Espera-se que os veículos a gás natural permitam importantes reduções nos níveis de emissão. As maiores vantagens serão apenas obtidas a partir de motores fabricados especificamente para usar gás natural, que têm configurações de câmara de combustão, sistemas de mistura ar/combustível, curvas de ignição e outros parâmetros de motor optimizados para combustão de gás natural. As emissões dependem do "design" do motor em causa e das estratégias de combustão.

Os motores "bi-fuel", usando equipamentos de conversão não representam o melhor que se pode obter em reduções de emissões, apesar dos equipamentos da última geração, usando injeção gasosa, controles electrónicos e conversores catalíticos serem altamente eficientes em controle de emissões quando adequadamente instalados e ajustados (IEA,1992).

Os principais produtos de combustão de um motor de combustão interna a funcionar com uma mistura de um combustível hidrocarboneto com ar são o dióxido de carbono (CO₂), a água e o azoto. Idealmente, estas deveriam ser as únicas

²⁰ TLEV - Transitional Low Emission Vehicle.

²¹ ULEV - Ultra Low Emission Vehicle.

²² ZEV - Zero Emission Vehicle.

emissões. Porém, devido ao facto de o combustível ser apenas parcialmente queimado, os hidrocarbonetos (HC), óxidos de azoto (NO_x), monóxido de carbono (CO) e outros compostos orgânicos estão presentes no gás de escape.

Os motores a gasóleo operam com mais elevados rácios ar/combustível que os motores a gasolina e a disponibilidade de oxigénio em excesso significa que produzem menos hidrocarbonetos e monóxido de carbono, apesar de em condições de arranque o frio as emissões de hidrocarbonetos aumentarem e ser emitido fumo de escape (BRITISH GAS,1991a).

Apesar de existir uma grande incerteza científica no potencial de aquecimento das emissões durante o ciclo do combustível, parece que o gás natural tem menor impacto sobre o aquecimento global que a gasolina, mas tem o mesmo impacto que o gasóleo (IEA,1992).

Embora se aceite que o gás natural é um combustível limpo, não se podem ignorar os enormes esforços de investigação e desenvolvimento que têm sido feitos pelos fabricantes de motores a gasóleo e a gasolina, que têm melhorado as "performances" e emissões resultantes do uso de gasolina e de gasóleo. De acordo com BASSI(1993), as vantagens de emissão do motor a gás natural em relação aos combustíveis tradicionais poderão desaparecer se não forem aplicados esforços técnicos adequados ao desenvolvimento de motores a gás, para acompanhar as legislações ambientais cada vez mais rigorosas, em competição com os combustíveis gasóleo e gasolina.

Os relatórios sobre testes de emissão efectuados em motores a gás natural nem sempre referem a especificação do gás usado como combustível. Os testes de emissão efectuados em motores a gasolina, particularmente os que são conduzidos para fins de certificação legal, são realizados com um combustível padronizado. Parece lógico empregar uma especificação de gás padrão para permitir a mesma fiabilidade dos resultados (IEA,1992).

QUADRO 5.6 - Normas e níveis de emissão com GNC demonstrados na Holanda

		Limite	Demonstrado	Demonstrado
	US - FTP	ULEV	1600 Kg	1800 Kg
NO _x (g/km)	0.62	0.124	0.21	0.16
CO (g/km)	2.11	1.06	0.81	0.22
HC (g/km)	0.25	-	0.21	0.06
NMHC (g/km)	0.124	0.031	<0.02	<0.01

Fonte: VAN DER WEIDE, J; SEPPEN, J, 1992.

QUADRO 5.7 - Resultados de emissão para veículos a GNC no mercado italiano e teste "ECE 15-04"

Emissões	CO	HC	NO_x	CO₂
VW Passat 2.0 GLI				
(g/teste)	5.56	10.46	4.78	762.2
(g/km)	1.37	2.58	1.16	188.0
Fiat Uno Arcoboleno				
(g/teste)	0.74	8.82	3.64	-
(g/km)	0.18	2.18	0.90	-
Fiat Tipo com catalisador "three-way"				
(g/teste)	0.54	2.47	0.26	-
(g/km)	0.13	0.61	0.06	-

Fonte: VAN DER WEIDE, J; SEPPEN, J, 1992.

Emissões de Hidrocarbonetos

A questão das emissões de hidrocarbonetos é complicada, existindo um grande debate acerca dos relativos efeitos nocivos dos vários hidrocarbonetos. Os motores a gás natural emitem gás metano não queimado, que é um hidrocarboneto. Contudo, há várias autoridades que consideram que o metano não é ambientalmente tão nocivo, como outros hidrocarbonetos mais pesados, o que tem conduzido às normas de emissão de NMHC, que excluem o metano dos hidrocarbonetos.

Os motores a gás natural dão mais baixas emissões de NMHC que os motores a gasolina ou "Diesel". Qualquer gás emitido é principalmente metano, o que não é de preocupação quando comparado com os benzenos e tolenos em vapores de gasolina.

As emissões de hidrocarbonetos tendem a aumentar tanto sob condições muito ricas como sob condições muito pobres. A formação de HC tende a ser uma função do ar disponível e da mistura total ar/combustível.

É necessário uma quantidade mínima de ar para sustentar a combustão. Se a mistura for demasiado rica, então o combustível não queimado e parcialmente queimado será lançado no escape. As emissões de HC podem também ocorrer quando a concentração de CH₄ é demasiado baixa e a chama é apagada, o que pode acontecer nas extremidades da câmara de combustão onde as paredes do cilindro relativamente frias extinguem a chama antes de a combustão estar completa.

Por outro lado, as emissões de HC aumentam sob condições demasiado pobres se existir insuficiente combustível para sustentar a combustão. A existência de bolsas de combustível não queimado na câmara de combustão pode também contribuir para elevadas emissões de HC.

O escape de hidrocarbonetos sem metano de um veículo a gás natural consistirá principalmente em parafinas tais como etano e propano, que são menos reactivas que os NMHC dos veículos convencionais.

Emissões de Dióxido de Carbono

O CO₂ é um dos principais contribuintes para o aquecimento global. Comparado com os combustíveis líquidos, o gás natural tem um baixo rácio de carbono em relação ao hidrocarboneto. Assim, para uma libertação equivalente de energia, é produzido menos CO₂.

O gás natural mistura-se facilmente com o ar, tornando mais fácil o uso de uma combustão pobre, que melhora a eficiência do motor, reduzindo também as emissões de CO₂. As emissões de CO₂, induzindo "smog" (nevoeiro misturado com fumo), são significativamente mais baixas para motores a GNC devido à mais completa combustão do combustível.

As emissões de dióxido de carbono com gás natural são reduzidas para mais de 30 % comparadas com a gasolina. O quadro seguinte mostra o impacto dos combustíveis alternativos no efeito de estufa.

QUADRO 5.8 - Emissões de Gases com efeito de estufa em relação à gasolina, ciclo total do combustível, veículos de tecnologia avançada (CO₂ equivalente)

"Fuel cells" (hidrogénio-solar)	-90 a -85
Etanol a partir da celulose	-75 a -40
Hidrogénio (energia nuclear)	-70 a -10
GPL	-30 a -10
Veículo eléctrico (gás natural)	-25 a -10
GNC	-20 a 0
Veículo eléctrico	-20 a 0
Metanol a partir do gás	-10 a +8
Etanol a partir do milho	-10 a +35
Veículo eléctrico (carvão)	+25 a +50
Metanol (a partir do carvão)	+30 a +70

Fonte: VAN DER WEITE, J; SEPPEN, J, 1992.

Emissões de Monóxido de Carbono

O tráfego rodoviário é a principal fonte antropogénica de emissões de monóxido de carbono. Globalmente, as fontes feitas pelo homem contam com cerca de um terço de todo o monóxido de carbono atmosférico. Uma tendência recente para a redução nas emissões de monóxido de carbono reflecte, em grande medida, a introdução de controle de emissão nos veículos. O monóxido de carbono é um gás altamente tóxico.

Com a utilização de veículos a gás natural, o monóxido de carbono poderá ser reduzido em mais de 70 % (BRITISH GAS, 1992a).

Emissões de Óxidos de Azoto

Os óxidos de azoto (NO_x) são também um produto da combustão. Por outro lado, eles são agentes em muitas reacções químicas, conduzindo a componentes nocivos no ar. O NO_x é principalmente emitido como óxido nítrico (NO), que na atmosfera é oxidado para a forma, mais tóxica, de dióxido de azoto (NO_2). O dióxido de azoto quando misturado com vapor de água forma ácido nítrico. O tráfego rodoviário conta com aproximadamente 50 % de emissões de NO_x em países industrializados.

As emissões de NO_x são geralmente mais baixas que as dos motores "Diesel" e aproximadamente iguais às dos motores a gasolina. Estas emissões causam "smog" e chuva ácida, sendo produzidas quando o azoto é oxidado a alta temperatura e pressão. O gás natural não contém compostos de azoto mas durante o processo de combustão são formados alguns óxidos de azoto a partir do azoto que está presente no ar de combustão (IEA, 1990).

Emissões de Óxidos de Enxofre

A gasolina e o gasóleo são combustíveis produtores de enxofre. Quando é possível removê-lo, as considerações de custo limitam severamente o processo. Como resultado, os óxidos de enxofre são emitidos, o que contribui para as chuvas ácidas. O gás natural contém apenas indícios mínimos de enxofre (BRITISH GAS, 1991a).

Emissões de Compostos Orgânicos Voláteis

Os compostos orgânicos voláteis (VOC²³) compreendem um grande número de componentes, sendo alguns dos quais altamente reactivos em formação e/ou tóxicos.

A concentração do ozono é o problema mais sério de qualidade do ar de longo prazo, em muitos dos grandes centros urbanos, sendo o produto de uma série de processos atmosféricos complexos, envolvendo VOC e óxidos de azoto (NO_x). Os compostos orgânicos voláteis incluem hidrocarbonetos e compostos associados, tais como álcoois e aldeídos.

Para muitas áreas urbanas, o controle dos compostos orgânicos voláteis é, geralmente, considerado a estratégia mais eficiente para controlar o ozono, apesar do controle do NO_x ser adequado em certas situações.

Os compostos orgânicos voláteis dos NGV contêm, tipicamente, 90-95 % de metano, ou seja, 5 a 10 % de NMHC, enquanto que os compostos orgânicos voláteis do escape do veículo a gasolina contêm 5 a 35 % de metano, ou seja, 65 a 95 % de NMHC (IANGV, 1993).

Emissões de poluentes tóxicos

²³ VOC - Volatile Organic Compounds.

Para além das emissões regulamentadas de HC, CO e NO_x, os poluentes tóxicos têm recebido uma atenção crescente. Os poluentes encontrados nos escapes dos veículos considerados tóxicos incluem benzeno, 1-3 butadieno, aldeídos e partículas.

A principal fonte antropogénica de partículas é a combustão de combustível. As partículas de dimensão muito pequena podem penetrar dentro dos pulmões. Os motores a gasóleo são uma das principais fontes de emissão de partículas, produzindo uma quantidade maior, numa base energética, que os motores a gasolina.

- As emissões de partículas dos veículos a gás natural podem vir de duas fontes:
- óleo de lubrificação (devendo o seu controle ser otimizado);
 - A quantidade de gasóleo num processo "dual-fuel" (a saída de partículas é directamente comparável ao abastecimento do gasóleo).

Os veículos especificamente desenhados para usar gás natural oferecem a oportunidade de reduzir significativamente as emissões tóxicas, sendo as emissões de partículas praticamente eliminadas. O gás natural não contém benzeno e, por consequência, essas emissões estarão limitadas à combustão de óleo de lubrificação. Similarmente, as emissões de 1-3 butadieno serão praticamente eliminadas. Os veículos desenhados especificamente para uso de gás natural eliminarão também as emissões de chumbo (IEA, 1992).

5.3.5 Utilização de catalisadores e de novas tecnologias

Os motores podem ser desenhados para funcionar em condições estequiométrica ou em condições pobres. Tanto o motor estequiométrico como o motor de combustão pobre oferece vantagens distintas em termos de emissões, "performance" e de consumo de combustível.

A tecnologia para controle do motor estequiométrico é largamente utilizada em modernos motores a gasolina. Este tipo de motor e controle catalisador tem sido transportado com sucesso para motores a gás natural protótipo, apesar do seu elevado custo.

A natureza do controle estequiométrico permite um tratamento óptimo do escape HC, CO e NO_x através de meios catalíticos, permitindo também uma vantagem de potência em comparação com a abordagem de combustão pobre.

Os futuros desafios enfrentados pelos fabricantes de motores, procurando produzir um motor a gás natural estaquiométrico otimizado incluem: desenvolver um catalisador com bom controle de CH₄ e NO_x e um sistema de controle capaz de controlar com precisão o rácio ar-combustível.

A tecnologia de combustão pobre permite o controle do NO_x na fonte. Devido à atmosfera rica em oxigénio no gás de escape não é possível obter uma maior redução de NO_x através de meios catalíticos. O estabelecimento da combustão pobre também requer um bom catalisador de oxidação de CH₄ bem como um rigoroso sistema de controle do motor.

Tem sido feito, na Holanda, um esforço para o desenvolvimento de um catalisador óptimo para gás natural (metano). Dever-se-á prestar atenção às impurezas do combustível que poderão afectar o tempo de vida do catalisador.

QUADRO 5.9 - Níveis de emissão de gás de escape de vários tipos de motor medidos durante o teste "13 mode"

Tipo de motor	Combustível	Lambda	Emissões (g/kWh)				
			HC	CO	NOx	Part.	Catalizador
Padrões de emissão europeus (R.49)			2.40	11.20	14.40	-	
EURO 2 (1995)			1.1	4.0	7.0	0.15	
Padrões "US HD Transient" (1991)			1.74	20.79	6.71	0.13	
Ignição de faísca	GNC	1.00	0.35	0.35	0.70	<0.05	com cat.
Ignição de faísca	GNC	1.00	0.97	6.32	1.19	<0.05	com cat.
Ignição de faísca	Propano	1.00	1.05	7.71	0.90	<0.05	com cat.
Ignição de faísca	Propano	1.00	0.20	3.70	1.70	<0.05	com cat.
Ignição de faísca	GNC	1.44	1.10	0.15	3.50	<0.05	com cat.
Ignição de faísca	GNC	1.48	1.37	0.18	5.70	<0.05	com cat.
Ignição de faísca	Propano	1.49	1.02	0.28	4.38	<0.05	com cat.
Injecção piloto	Gasóleo/GNC	-	16.0	12.6	6.0	0.15	
"Mixed fuel"	Gasóleo/GNC	-	5.6	7.8	8.6	0.20	
"Diesel TC/IC"	Gasóleo	-	0.50	1.00	8.9	8.35	

Nota: O lambda mede a relação combustível/ar.

Uma mistura estequiométrica corresponde a um lambda=1.

Fonte: VAN DER WEIDE, J; SEPPEN, J, 1992.

O quadro seguinte mostra as actividades que têm sido desenvolvidas, no que respeita a motores pesados em diferentes países europeus.

QUADRO 5.10 - Resultados de emissão para diferentes tecnologias de acordo com o teste europeu de emissão "ECE R49" (13 mode)

Tipo de motor	Combustível	Tecnologia	Emissões (g/kWh)			
			NOx	HC	CO	Part.
Itália						
Caterpillar 3406	Gás Natural	Estaq.	0.5	0.1	0.3	-
Iveco 8220	Gás Natural	-	15.4	0.9	3.4	-
Iveco 8469.21	Gás Natural	Estaq.	0.70	0.35	0.35	<0.05
Holanda						
DAF DK DL 1060	Gás Natural	Comb. pobre	1.6	0.6	4.0	0.05
Suécia						
Volvo 10 1	Gás Natural	Comb. pobre	2.97	1.11	0.21	0.02
Volvo 7 1	Gás Natural	Comb. pobre	2.0	0.2	0.3	0.05
Scania 11 1	Gás Natural	Estaq.	0.79	0.9	1.1	0.02
Scania 11 1*	Gás Natural	Estaq.	2.5	0.6	0.7	0.03
Finlândia						
Valmet 311 7.4 1	Gás Natural	Estaq.	0.4	0.1	0.1	-
Caterpillar 3306	Gás Natural	Estaq.	0.51	0.12	0.41	-

* Pré-produção

Fonte: VAN DER WEIDE, J; SEPPEN, J, 1992.

5.3.6 Emissões evaporativas e de reabastecimento

As emissões evaporativas e de reabastecimento de veículos a gasolina têm sido uma preocupação crescente na América do Norte, Europa e Japão. Recentemente, a Califórnia promulgou processos de teste de emissões evaporativas mais rigorosos. Estes novos regulamentos eliminarão, com efeito, as emissões evaporativas.

As emissões evaporativas consistem na libertação de emissões de combustível não queimado do sistema de combustível do veículos durante a sua operação, bem como quando o veículo está estacionado. Os veículos unicamente destinados ao uso de



gás natural não deverão ter emissões evaporativas devido aos seus sistemas de abastecimento fechado.

Os veículos "bi-fuel" terão ainda algumas emissões evaporativas devido à gasolina armazenada no veículo. As emissões de reabastecimento ocorrem quando o veículo é abastecido.

As emissões reactivas ou emissões evaporativas de NMHC ou de reabastecimento provenientes do veículo a gás natural são por natureza baixas. Além disso, as emissões evaporativas são minimizadas, devido ao "design" do sistema de combustível (IEA, 1992).

5.3.7 Emissões durante a extracção, processamento e distribuição do combustível

As emissões do tubo de escape não são a única fonte de emissão de um veículo. Existem várias actividades associadas à extracção do gás natural, preparação e distribuição que contribuem para as emissões.

De acordo com a ECOTRAFFIC, 1992, os combustíveis de transporte têm sido, tradicionalmente, apenas avaliados pela energia, emissões e impacte ambiental quando usados em veículos. Contudo, a energia é necessária e os combustíveis começam verdadeiramente a ter um impacto sobre o ambiente muito antes disto (no caso de combustíveis fósseis, desde o processo de extracção do petróleo bruto). Depois da recuperação de energia primária, os combustíveis devem ser refinados, armazenados e distribuídos. Cada um destes processos envolve, por sua vez, utilização de energia adicional e efeitos ambientalmente adversos.

A fim de fazer comparações mais precisas da eficiência energética do combustível e emissões, todo o uso de energia relacionado e emissões deve ser considerado sendo, assim, necessário modificar ou substituir a visão do uso final como filosofia de sistema alargado.

As principais fontes de emissões no ciclo de combustível do gás natural incluem o processo de purificação do gás e as emissões durante a distribuição. O quadro seguinte resume as emissões durante o ciclo de combustível do gás natural.

A maior parte emissões de SO_x ocorre durante o processo de purificação do gás onde o enxofre é libertado. As emissões de HC, CO e NO_x ocorrem principalmente durante a fase de distribuição.

QUADRO 5.11 - Emissões durante o ciclo de combustível do gás natural (g/m³)

SO_x	CO	HC	NO_x	CO_2
0.1670	0.097	0.014	0.235	104.1

Fonte: IEA, 1992

5.3.8 Ruído provocado pelos veículos a gás natural

Existem três principais fontes de ruído de veículos: motor, tubo de escape e peneus. Geralmente o ruído dominante é o dos veículos pesados a velocidades superiores a 50 km/hora. O ruído do motor tende a ser muito maior para motores "Diesel" comparado com os motores do "Ciclo Otto".

O metano como combustível de motor pesado, pode reduzir o nível de ruído do motor. Uma fonte estima uma redução de 10 dB de ruído. Esta redução pode ser atribuída a uma redução no rácio de compressão e alteração de um "Ciclo Diesel" para um "Ciclo Otto".

Têm existido contribuições qualitativas sobre níveis de ruído de veículos a gás natural. Contudo, muitos destes dados qualitativos sobre ruído devem ser analisados muito criticamente. Antes que qualquer conclusão definitiva possa ser obtida, deverão ser efectuadas mais medições sobre ruído para quantificar níveis de ruído em condições de condução idênticas.

Os testes devem incluir todos os "designs" possíveis de motor. Isto inclui motores "bi-fuel" (gás natural e gasolina), motores que utilizam apenas gasolina, veículos fabricados para uso exclusivo de gás natural e "dual-fuel".

Quadro 5.12 - Níveis de ruído interno para um veículo a gás natural

Velocidade do motor RPM	Velocidade do veículo km/h	Nível de Som (dBA) À Frente	Nível de Som (dBA) No meio	Nível de Som (dBA) Atrás
1500	45	70 (75)	71 (73)	72 (73)
2500	78	76 (82)	78 (80)	77 (77)
3000	90	78 (85)	81 (82)	80 (82)

Nota: Os valores entre parêntesis são para um veículo a gasóleo

Fonte: IEA, 1992.

6. A situação dos transportes rodoviários em Portugal

6.1 Introdução

Os objectivos energéticos não só portugueses como também comunitários têm em vista a promoção, demonstração e divulgação de tecnologias inovadoras no domínio da energia, a sua introdução no mercado e também a melhoria da eficiência energética e a protecção do ambiente.

A fim de atingir estes objectivos, tem sido feito um esforço de incentivo à utilização racional de energia, o que para o caso do sector dos transportes se traduz na eficiente satisfação das suas necessidades energéticas.

O crescimento do consumo de gasolina e de gasóleo nos transportes rodoviários nos últimos anos, acentuou a preocupação e o reconhecimento da importância da política energética, nomeadamente no que respeita às interligações que se estabelecem entre energia/ transportes e energia/ambiente.

Estas interligações são cada vez mais importantes, devido não só à maior mobilidade das pessoas com o conseqüente aumento da intensidade dos vários modos de transporte, como também ao aumento do número de veículos que circulam anualmente em Portugal, embora tenhamos ainda uma motorização abaixo da média europeia.

A política energética no que respeita ao sector dos transportes, tem sido orientada no sentido de uma utilização eficiente da energia e da promoção de combustíveis com menores impactes ambientais, como por exemplo a gasolina sem chumbo e a utilização de LPG nos transportes públicos.

6.2 Consumo de energia dos transportes rodoviários

O consumo de energia no sector dos transportes está muito ligada às questões do ambiente e da economia da energia. De facto, as economias de energia são um objectivo neste sector pois contribuirão para diminuir os impactes no ambiente, porque reduzem de forma absoluta as emissões de poluentes do ar tanto a uma escala global como ao nível das áreas urbanas.

Em relação ao consumo de energia observado no sector dos transportes, podem encontrar-se na literatura referências neste domínio desde o início dos anos 50, nomeadamente no que diz respeito aos impactes negativos do congestionamento nas áreas urbanas sobre o consumo de energia dos veículos que aí circulam.

No entanto, é a seguir ao primeiro choque petrolífero, em 1973, que se começam a desenvolver políticas de economia de energia a nível oficial no sentido de

limitar, por um lado o consumo global de energia e por outro, para diminuir a dependência do petróleo investindo na diversificação energética.

Os esforços empreendidos na economia da energia nas últimas duas décadas tiveram resultados positivos nos vários sectores de actividade, especialmente na indústria. Os resultados de poupança de energia obtidos nos sector dos transportes resultam essencialmente da evolução tecnológica ao nível da eficiência dos veículos, acabando por ser suplantados pelo crescimento da procura de transporte que se verificou nas últimas décadas.

O grau de desenvolvimento do sistema de transportes de um país está muito relacionado com o seu grau de desenvolvimento económico. Comparado com outros países, o consumo de energia no sector dos transportes é em Portugal ainda baixo reflectindo, assim, um fraco grau de desenvolvimento económico-social: 0,3 TEP/hab, contra, por exemplo, 0,79 na Dinamarca, 0,77 na RFA ou 0,67 na França. Esta situação não significa, porém, que seja desperdiçada menos energia.

O consumo de energia final no sector dos transportes tem aumentado em Portugal. No início da década, representava cerca de 29 % do total dos consumos finais. Em 1989 esse peso passou para 32 %.

Os transportes rodoviários representavam, em 1990, em Portugal 85,7 % do consumo energético do sector (85,4 % era a média da CEE).

O sector dos transportes é aquele onde se têm verificado os maiores crescimentos do consumo de energia tendo sido, em 1992, o segundo sector com maior peso no Balanço Energético Português, logo após o sector industrial.

É de referir que o sector dos transportes, em Portugal, correspondia em 1986 a 26,5 % do consumo total de energia final do país e em 1990 a 28,2 %, tendo o consumo de energia neste sector registado um crescimento médio anual 8,4 % superior à média dos outros sectores. O sector dos transportes é também aquele onde se verifica o maior consumo de derivados de petróleo (~99,5 % em 1990) (PEREIRA, 1992).

O sector dos transportes contou, em 1991, com 30,4 % do total do consumo de energia final, mantendo-se a tendência iniciada em meados da década de 80, para um aumento do peso do consumo energético deste sector no consumo final total.

Este comportamento traduziu-se por um acréscimo de 6,4 % em 1991 face aos 6,2 % em 1990.

O peso do consumo de gasolina no total do consumo de energia do sector continua a aumentar, ao contrário do consumo de gasóleo, tendo atingido os 41 % em 1991. Verificou-se uma taxa de crescimento de 10 % no consumo de energia, enquanto que no ano anterior essa taxa foi de 8,5 %.

Um dos factores explicativos do elevado aumento do consumo de gasolina prende-se com a evolução do parque automóvel a gasolina, cuja relação com o consumo se torna evidente desde 1987/1988.

Por outro lado, uma análise das vendas de automóveis de passageiros ligeiros e mistos por classe de cilindrada, permite verificar que, nos últimos anos, se registou uma progressiva deslocação da procura no sentido de classes de cilindrada mais elevadas, facto que poderá ter tido algum efeito no que respeita ao aumento do consumo de gasolina. Os crescentes valores de intensidade energética mostram um agravamento da ineficiência do sector (DGE, 1991).

Quadro 6.1 - Repartição dos consumos de energia no sector dos transportes nos países da OCDE (1970-1990). (Mtep)

	1970	1980	1985	1990
Aéreo	69,00	87,00	96,30	118,20
Rodoviário	445,00	607,40	636,60	732,70
Ferroviário	29,40	27,00	22,60	22,90
TOTAL	562,70	741,00	774,90	895,00

Fonte: OCDE, 1993

Quadro 6.2 - Consumo sectorial de energia final nos países da Europa dos 12. (Mtep)

	1980	1985	1987	1989	1990
Indústria	245.70	214.22	216.73	222.99	222.94
Transportes	170.39	181.42	198.65	222.62	229.56
Outros	276.58	280.59	288.83	266.97	270.56
TOTAL	692.67	676.23	704.21	712.58	723.06

Fonte: CEC, 1991

Quadro 6.3 - Evolução do consumo de energia final em Portugal entre 1980 e 1991 (ktep)

Ano	1980	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	tmca ²⁴
Subsector									80/91
Indústria (1)	3433	3739	3737	3936	4169	4387	4419	4575	1,02645
Transportes	2346	2476	2674	2956	3233	3426	3642	3876	1,0467
Doméstico/Serviços	1610	1839	1906	1928	2012	2133	2233	2385	1,03637
Outros	642	553	568	599	571	586	613	615	0,9961
Total (1)	8031	8607	8885	9419	9985	10532	10907	11451	1,03278

(1) sem matérias primas

Fonte: DGE, 1986; DGE, 1991a

No triénio (87/89) verificou-se uma tendência para o crescimento do consumo de energia final no Sector dos Transportes, que se traduziu num crescimento do parque automóvel, especialmente do transporte individual.

²⁴tmca - taxa média de crescimento anual.

QUADRO 6.5 - Consumo de energia final

	1980	1985	1986	1987	1988	1989
Indústria *	3433	3615	3627	3717	3882	4037
Transportes	2346	2476	2675	2956	3233	3426
Dom./Serviços	1610	1845	1879	1928	2012	2133
Outros	642	755	752	895	893	945
Total*	8031	8691	8983	9496	10020	10541

* Não inclui utilizações como matéria-prima

Fonte: CORRÊA, 1990.

Durante o mesmo período, registou-se uma evolução crescente da intensidade energética (kgep/ unidade PIB).

**QUADRO 6.6 - Intensidade energética
(Consumo de energia por unidade de produto)
(kgep/10 esc.80)**

	1980	1985	1986	1987	1988	1989
Indústria * (/Unid. Prod. Ind.)	9.17	9.76	9.22	9.17	9.39	9.30
Transportes (/Unid. PIB)	1.87	1.89	1.96	2.06	2.17	2.18
Dom./Serviços (/Unid. Cons. Priv.)	1.90	2.16	2.09	2.02	1.97	2.03
Valor Médio Geral *	6.39	6.63	6.58	6.62	6.72	6.70

* Não inclui utilizações como matérias-primas.

Fonte: CORRÊA, 1990.

Assim, no sector dos transportes verifica-se, simultaneamente, um aumento do consumo global de energia (acompanhando de um aumento do consumo de gasolina) e um aumento da intensidade energética em relação ao PIB gerado.

**QUADRO 6.7 - Evolução do consumo de gasolina
e venda de automóveis e gasolina**

	1980	1985	1986	1987	1988	1989
Consumo (Ktep)	755	803	958	1104	1224	1335
% Sec. Transp.	32.2	32.4	35.8	37.3	37.8	39.0
Vendas de Automóveis	45303	89744	104949	120041	205185	183813

Fonte: CORRÊA, 1990.

Tendo sido iniciada uma intervenção no Sector Industrial visando a dinamização da conservação de energia, a diversificação de fontes energéticas e a utilização de recursos endógenos, torna-se agora necessário dirigir o mesmo tipo de actuação para outros sectores de actividade económica com grandes consumos energéticos ao nível nacional.

No que diz respeito à estrutura de consumo de energia por tipo de fonte energética e de meio de transporte, verifica-se que predomina, o consumo dos derivados do petróleo, em especial gasolina e gasóleo (88.4 %) e, nestes, é de referir que o Sector dos Transportes Rodoviário apresenta um peso superior a 96 % (em 1989).

Quadro 6.8 - Estrutura dos consumos no sector dos transportes (1991)

Fonte	Gasolina	Gasóleo	Fuel	Jet	Electri- cidade	Total	%
Sub-sector				Fuel			
Rodoviário	1594	1710				3304	86
Ferroviário		60			28	88	2
Navegação Aérea	1			284		285	7
Navegação Marítima		45	99			144	4
Total	1595	1815	99	284	28	3821	
%	42	48	2,6	7,4	0,7		100

Fonte: DGE, 1991b

Os consumos destes combustíveis são muitas vezes designados como consumos cativos, ou seja, dificilmente substituíveis por outros produtos.

Em Portugal a prática seguida tem vindo a favorecer o modo de transporte individual em detrimento dos modos de transporte de maior eficiência energética, o que se traduz não só numa crescente deseconomia energética, como também numa perda de qualidade de vida nos grandes centros urbanos.

No entanto, durante a década de 80 o sistema de transportes evoluiu de uma forma descontrolada, não programada, tendo sido desperdiçadas oportunidades de racionalizar consumos e de evitar a degradações. O Plano Nacional de Transportes é omissivo em relação à problemática energética.

Para racionalizar os consumos energéticos será importante fomentar as transferências intermodais para os modos de maior eficiência energética, o que pressupõe um conhecimento da repartição modal, o que em Portugal é bastante difícil. Porém, com base na análise dos elementos disponíveis, foram estimados para a região de Lisboa, os valores que se apresentam no quadro seguinte.

Quadro 6.9 Repartição entre Transporte Individual e Transporte Público na Região de Lisboa

	1975	1981	1979
TI	49 %	30 %	35 %
TP	51 %	70 %	65 %

Fonte: FONSECA C.; RODRIGUES, A., 1990.

O primeiro ano baseia-se no Estudo de Transportes da Região de Lisboa (ETRL). O segundo, o tratamento de dados do Recenseamento de 1981 relativo às deslocações obrigatórias e o último é uma estimativa que se baseia na evolução da procura de transportes nos operadores da região e da evolução do consumo de combustíveis (FONSECA, C.; RODRIGUES, A., 1990).

6.3 Medidas de incentivo à utilização racional de energia

O governo tem procurado conjugar as actuações dos sectores da energia e dos transportes, sendo de referir que foi financiado pelo Banco Mundial, em 1990, um estudo de políticas de gestão de energia nos transportes, com o objectivo de propor um conjunto de medidas estruturais e de gestão tendo em vista uma maior eficiência da utilização de energia neste sector.

Este estudo constitui um instrumento fundamental para a criação de uma contabilidade energética nas empresas e para a identificação de medidas que conduzam à utilização racional de energia, com as inerentes vantagens para essas entidades económicas.

Com o conhecimento dos principais elementos que determinam o consumo de energia no sector dos transportes, poderão ser previstas, numa óptica da eficiência energética, acções e formas de gestão adequadas que contribuam para a redução dos impactes induzidos pelos consumos de energia e pela concentração urbana.

Todos estes aspectos obedecem a uma estratégia específica do sector dos transportes, havendo necessidade de articular as multiplas variáveis envolvidas, constituindo a energia, certamente, uma das componentes com uma importância relativa bastante considerável.

O ordenamento urbano constitui um factor fundamental para moderação da procura de transportes e a eficiência da sua utilização, com consequências estruturais no que respeita ao consumo de energia.

Foram já desenvolvidas algumas acções que visam a utilização racional de energia no sector dos transportes.

O Regulamento de Gestão e Consumo de Energia (DL 58/82 e Portaria 359/82) applicava-se a todos os sectores de actividade económica e tem por objectiva a tomada de medidas obrigatórias, por todas as entidades e instalações grandes consumidoras de energia de medidas, tendentes a uma gestão racional de energia consumida. O enquadramento dessas medidas é traduzido no documento designado por "Plano de Racionalização", que terá de ser aprovado pela DGE e acompanhado através da elaboração de relatórios anuais. No entanto, a sua aplicação foi exclusivamente dirigida ao sector industrial.

O quadro seguinte demonstra a situação referida e também a distribuição por sectores de actividade económica dos Planos de Racionalização entregues na DGE.

QUADRO 6.10 - Planos de Racionalização Apresentados

Sector de Actividade	Até Março de 1988	Até Outubro de 1990
Alimentar	4	34
Textil	4	64
Madeira e Cortiça	1	67
Papel	15	26
Química	7	14
Cerâmica e Vidro	10	17
Cimentos	7	8
Hotalaria	0	4
Hospitais	0	1
Transportes	0	1
Outros	2	14
Total	50	250

Fonte: CORRÊA, 1990.

Um aspecto bastante importante é o facto de a factura energética, só no subsector dos Transportes Rodoviários poder atingir cerca de 30 % dos custos de exploração, equiparando-se com os custos de mão-de-obra e amortização relativos ao investimento dirigido à renovação das frotas.

Com base na experiência da aplicação da legislação e nas dificuldades apresentadas por empresas industriais com frotas próprias e por alguns operadores do sector dos Transportes houve a preocupação de, através do Despacho 10/88 de 30 de Maio de Sua Excelência o Secretário de Estado da Energia, de clarificar alguns critérios e parâmetros do Regulamento de Gestão do Consumo de Energia dirigido de modo a que tivesse uma melhor aplicação no Sector dos Transportes.

No entanto, esse Despacho não resolveu a maioria das dificuldades encontradas, situação que foi comprovada pela fraca resposta obtida, tendo sido sentidas dificuldades no seu cumprimento, que foram manifestadas não só através do contacto directo com as empresas, como também através do contacto com entidades representativas do sector (CORRÊA, 1990).

A fim de resolver esta situação e de reduzir os consumos energéticos e a dependência do petróleo, foi publicado em 1990 o Regulamento de Gestão do Consumo de Energia para o Sector dos Transportes (Portaria 228/90 de 27 de Março), um diploma que se aplica às empresas com frotas próprias cujos consumos anuais excedam os 500 TEP e que foi acompanhado de uma acção de sensibilização junto dos agentes económicos envolvidos. Este regulamento tinha como objectivo a redução de 5 % do consumo em três anos, para cada uma dessas frotas.

No que respeita à promoção de combustíveis com especificações mais exigentes, são de referir as acções relacionadas com a adequação das condições produtivas da refinaria da Petrogal, de modo a satisfazer a procura de produtos de elevada qualidade e com a promoção de uma maior utilização da gasolina sem chumbo, não só dando a conhecer os seus benefícios em termos de impactes ambientais, como também as vantagens económicas decorrentes de um preço inferior ao da gasolina com chumbo.

Neste sentido, houve em 1992 uma iniciativa conjunta entre os Ministérios da Indústria e Energia e do Ambiente, de lançamento de uma campanha tendo em vista um aumento progressivo do consumo de gasolina sem chumbo e uma redução das gasolinas mais poluentes.

Foi também publicada a legislação do GPL como combustível, com o objectivo de introduzir uma maior flexibilidade no que respeita a combustíveis utilizados no sector dos transportes. De facto, até 1991, Portugal era o único país da comunidade que não permitia a utilização daquele combustível em veículos.

Deste modo, existe hoje um quadro regulamentar que permite utilizar GPL nos veículos, em substituição da gasolina, estando o governo empenhado na utilização de tecnologias conhecidas aplicáveis a veículos de transportes públicos nos grandes centros urbanos com o objectivo de obter emissões menos poluentes.

A introdução do GPL no sector dos transportes, especificamente nos transportes públicos urbanos, constitui uma medida que o governo pretende dinamizar com o objectivo não só de aumentar a flexibilidade na utilização de combustíveis como também como passo intermédio para utilização de gás natural, ao mesmo tempo que pretende atenuar os impactos ambientais decorrentes da concentração rodoviária e urbana.

Os Transportes Colectivos do Porto adaptaram um autocarro para funcionar com mistura GPL/gasóleo, tendo intenção de converter mais autocarros com uma tecnologia conhecida que utiliza mais intensamente o GPL, de modo a avaliar os efeitos das várias tecnologias e o contributo positivo deste combustível para a diminuição dos impactos ambientais na cidade do Porto (PEREIRA, 1992).

6.4 Insuficiência de informação

Os elementos disponíveis referem-se às dificuldades na obtenção de informação credível para o planeamento dos transportes em Portugal. Ao nível nacional não existem estudos de mobilidade. Foi feito pela JAE em 1979 um inquérito Origem/Destino (O/D) do tráfego rodoviário e a PERFORM realizou outro de âmbito mais restrito em 1990, no quadro do corredor Norte-Sul que está a executar com o BCEOM.

Foram realizados inquéritos Origem/Destino no período 1973-1975 pela JAE e DGTT, para a região de Lisboa, que hoje se encontram totalmente ultrapassados. Além disso, devido à ausência de uma matriz actualizada, muitos operadores e entidades públicas têm realizado numerosos inquéritos parcelares, cada um com a sua metodologia, e portanto incompatíveis uns com os outros, com a necessidade de avultados recursos financeiros com eficiência reduzida.

7. Avaliação económica aplicada a Portugal

7.1 Introdução

Para muitos economistas, a expressão "projecto" é entendida como um "conjunto sistematizado de informação destinado a fundamentar uma decisão de investimento". No âmbito da análise previsional de investimentos, considera-se que a rentabilidade é a aptidão de um investimento para assegurar a recuperação dos capitais investidos na sua exploração, criar um rendimento financeiro adicional para cobrir os juros do capital (próprio ou alheio), remunerando ainda a actividade de direcção do empresário e o seu risco (ABECASSIS F.; CABRAL N., 1982).

O grau de rentabilidade é uma medida do interesse de um determinado investimento. Neste sentido, considera-se que um utilizador pretende conhecer a rentabilidade de um projecto de investimento, que consiste na adaptação de um veículo, por forma a usar GNC, obtendo poupanças de combustível anuais, decorrentes do facto de o GNC ter um preço inferior aos combustíveis tradicionais.

A viabilidade económica dos veículos a gás natural depende de um conjunto de factores, incluindo o custo adicional do veículo (ou seja, custo de conversão para veículos existentes, diferencial de preços para novos veículos), o preço do gás natural em relação à gasolina ou ao gasóleo, o consumo anual de combustível do veículo, o tipo de estação de abastecimento utilizada e o preço associado à tecnologia.

Cada aplicação potencial deve ser analisada numa base individual. Contudo, de acordo com estudos efectuados em diversos países, é possível tirar algumas conclusões gerais sobre a viabilidade económica dos NGV. O gás natural não se apresenta economicamente viável como combustível para veículos ligeiros de passageiros, a não ser que existam substanciais poupanças nos custos de combustível através de impostos preferenciais.

A viabilidade económica melhorará significativamente se os veículos de passageiros a gás natural forem construídos numa linha de produção por fabricantes de equipamento original, dando um menor custo adicional que uma conversão de um veículo já existente.

As aplicações mais prometedoras para NGV são veículos de frota com elevado consumo anual de combustível e custos de conversão e de estação de abastecimento mínimos. Os menos favoráveis são os veículos ligeiros de passageiros com baixa quilometragem e que são sujeitos a conversões depois de adquiridos.

Em aplicações pesadas, o gás natural é, em geral, economicamente atractivo para frotas de veículos urbanos, sobretudo se for possível o abastecimento "slow-fill". Quando o custo das operações "Diesel" aumenta, devido a factores tais como gasóleo de baixo enxofre, armadilhas de partículas e outros custos elevados para respeitar os

novos regulamentos de emissões, o potencial para a penetração no mercado aumentará.

As diferenças nacionais no que respeita às estruturas de impostos, aos regulamentos ambientais, à capacidade do sistema de distribuição e ao preço do gás natural tornam difícil atingir uma conclusão ao nível macro (mundial) acerca da viabilidade económica do NGV.

A viabilidade numa determinada área geográfica pode também variar em função da aplicação específica. Em termos gerais, o mais baixo preço do gás natural é usado para compensar os mais elevados custos para a estação de reabastecimento e de conversão dos NGV. À medida que a quantidade de combustível consumido aumenta as poupanças no custo de combustível também crescem. Por consequência, geralmente, quanto mais combustível é consumido, maior é a possibilidade de uma conversão ser viável (IEA, 1992)

A capacidade disponível no sistema de distribuição tem um impacto positivo sobre a análise económica dos NGV, dado que o custo de novos gasodutos e outras facilidades de transmissão não necessita de ser reflectido no custo da oferta de gás natural.

7.2 Metodologia utilizada

Existem várias medidas que permitem estimar a rentabilidade de um projecto de investimento. Alguns dos critérios mais utilizados envolvem a noção de cash-flow (BARROS, 1991).

O conceito de cash-flow está relacionado com os fluxos líquidos gerados pelo projecto, que assumem a forma de numerário. A vantagem do cash-flow em relação ao lucro é que o primeiro é um conceito mais objectivo, claramente definido, que é registável de forma inequívoca. Os recebimentos e os pagamentos efectivos em numerário são os elementos para a medição do cash-flow.

O conceito de actualização é muito importante, estando ligado à possibilidade de aplicar capitais no período actual com o objectivo de obter rendimento no futuro. Considera-se que os agentes económicos, independentemente do risco, da inflação e da desvalorização cambial, preferem o rendimento imediato ao rendimento futuro, situação que tem origem psicológica e que varia de indivíduo para indivíduo, de acordo com as respectivas necessidades actuais e expectativas em relação ao futuro. No entanto, os agentes económicos estão, em geral, dispostos em diferir o consumo actual em troca de consumo futuro se tiverem alguma vantagem nisso.

Na definição de cash-flow é importante não só identificar os recebimentos e pagamentos do projecto em numerário, mas também o período de tempo em que se verifica esse fluxo, dado que o dinheiro tem valor no tempo e uma unidade monetária actual é equivalente a um múltiplo dessa unidade no futuro.

O conceito de cash-flow poderá ser desagregado em cash-flow de investimento e cash-flow de exploração. O cash-flow de investimento refere-se aos pagamentos em numerário associados à despesa de investimento do projecto, líquido dos recebimentos em numerário associados à extinção do projecto. O cash-flow de exploração refere-se os recebimentos líquidos de pagamentos em numerário associados à exploração do projecto.

O cash-flow de investimento obtém-se a partir do plano global de investimento e o cash-flow de exploração a partir do plano de exploração provisional. Estes planos registam os fluxos de saída (pagamentos/despesas) e entrada (recebimentos/receitas) de numerário devidos ao projecto, sendo a característica fundamental dos fluxos registados é a de constituírem fluxos em numerário, característica esta que é independente da forma como são financiados os pagamentos.

As amortizações e reintegrações do exercício são excluídas do cash-flow pelo facto de não representarem uma saída de numerário. Trata-se de despesas que traduzem a perda de valor dos equipamentos utilizados que terão de ser substituídos no fim da sua vida útil, de modo a que seja possível prosseguir a actividade.

Se as amortizações e reintegrações do exercício fossem consideradas como despesa do projecto, estar-se-ia a contar duas vezes a despesa relativa ao investimento, uma vez como despesa de investimento, outra como amortização e reintegração desse mesmo investimento.

Os encargos financeiros são também excluídos, pelo facto de serem considerados no processo de actualização. A sua consideração nas despesas, resultaria igualmente numa dupla contagem, pois estes encargos já estão implicitamente considerados no processo de actualização do investimento.

Quando a vida económica ou técnica do equipamento é inferior ao período de vida do projecto, terá de ser considerado o valor residual desse equipamento nesse período. O valor residual constituirá uma receita financeira que compensa a despesa financeira correspondente ao novo equipamento de substituição.

Os custos considerados na definição do cash-flow são os custos suportados por causa do projecto, não sendo, assim, de considerar custos que a empresa tenha de suportar, implemente ou não o projecto. Estes custos que possuem a designação de custos irrecuperáveis (sunk costs) não poderão ser considerados custos do projecto.

O período de vida do projecto é definido em função do período de vida técnico ou económico dos equipamentos mais importantes do projecto.

O período de vida técnico é definido em função de características técnicas intrínsecas ao equipamento, sendo estabelecido pelos fabricantes de equipamento. O período de vida económico é o período de vida em que o produto produzido pelo equipamento tem aceitação no mercado por parte dos consumidores e possui características técnicas que asseguram níveis de produtividade competitivos face aos equipamentos concorrentes, de tal forma que o nível de custos assegure capacidade concorrencial.

Em contextos de alterações estruturais e instabilidade, o risco inerente ao investimento condiciona muitas vezes o período de vida relevante, que tende a ser fixado de forma subjectiva pelo investidor ou pelo financiador em função da sua percepção do risco.

Neste estudo são aplicados critérios de avaliação baseados no cash-flow, que constituem os critérios por excelência da avaliação da rentabilidade dos projectos de investimento: período de recuperação (Payback), Valor Actual Líquido (VAL) taxa Interna de Rendibilidade (TIR). Com recurso a estes três indicadores são efectuados dois estudos para veículos de passageiros, um para um veículo ligeiro e outro para um veículo pesado. A TIR, o VAL e o Payback constituem os três grandes critérios da avaliação de projectos.

O Valor Actual Líquido (VAL) traduz-se no somatório dos cash-flows anuais actualizados a uma taxa escolhida (no caso presente considerou-se uma taxa de actualização de 10 %) deduzidos do montante, actualizado à mesma taxa, dos investimentos. Trata-se de um critério aconselhado quando se pretende escolher um de entre vários projectos com níveis de investimento diferentes, conhecida a taxa de financiamento. A decisão de investir será favorável se o Valor Actual Líquido for positivo. Porém, para projectos com níveis de investimento e prazos de vida útil acentuadamente diferentes o critério do VAL, não é aconselhado, sendo necessário um recurso complementar a outros critérios.

O critério do Valor Actual Líquido (VAL) é considerado o mais consistente para a selecção de projectos mutuamente exclusivos e define-se do seguinte modo:

$$VAL = \frac{\sum_{t=1}^n (Rt - Ct) - \sum_{t=1}^n It}{(1+i)^t}$$

Rt=Receitas do ano t

Ct=Custos do ano t

It=Investimento do ano t

i= taxa de actualização

Deste modo, o VAL é o somatório dos cash-flows líquidos actualizados. Este critério tem em conta o valor do dinheiro no tempo e valoriza mais os os cash-flows actuais que os futuros, admitindo que os cash-flows gerados pelo projecto são reinvestidos à taxa de actualização do projecto.

Apesar de se tratar de um critério coerente, simples de calcular e consistente no contexto da avaliação de projectos, são-lhe feitas algumas críticas, entre as quais está o facto de ser sensível à taxa de actualização e de não ter em consideração a solvabilidade do projecto pois, segundo este critério, aceitar-se-á um projecto com cash-flows negativos ao longo da sua vida, desde que no último ano o cash-flow gerado dê origem a um VAL positivo. Nestas circunstâncias, o projecto seria aceite

mas teria problemas de tesouraria. Considera-se, no entanto, que o maior inconveniente deste critério tem a ver com a sua interpretação.

A Taxa Interna de Rentabilidade (TIR) é a taxa de actualização que dá origem a um VAL nulo.

A esta taxa, o cash-flow de exploração é igualado ao cash-flow de investimento. De acordo com o critério da TIR, o projecto poderá ser implantado, sempre que esta seja superior à taxa de juro de referência. A rentabilidade do projecto poderá ser medida através da diferença entre a TIR e a taxa de referência (TIR - Taxa de Referência) ou pela taxa média (TIR - Taxa de Referência)/Taxa de Referência.

A taxa de actualização assim determinada poderá ser comparada, por um lado, com a taxa de juro de financiamento do próprio projecto (se for conhecida) e, por outro, com a taxa de juro do mercado financeiro, a fim de saber se é preferível aplicar o capital correspondente nesse mercado. A taxa de referência é, normalmente, o custo de oportunidade do capital investido, ou seja, o rendimento perdido na alternativa mais rentável ao investimento aplicado no projecto, sendo, as taxas de referência, geralmente utilizadas, as taxas de juro dos títulos do tesouro e as taxas de juro das operações passivas.

É de referir que a TIR é a taxa que o investidor obtém, em média em cada ano sobre os capitais que se encontram investidos no projecto, sendo o investimento inicial recuperado progressivamente. Tal como o VAL, a TIR tem em conta o valor do dinheiro no tempo, valorizando mais os cash-flows actuais que os cash-flows futuros.

O período de recuperação constitui um critério de avaliação de projectos que se baseia no período de tempo que o projecto demora a recuperar o capital investido.

Neste trabalho foi efectuado um estudo de rentabilidade económica para a utilização de GNC num veículo ligeiro de passageiros e um outro estudo de rentabilidade económica para um veículo pesado de passageiros.

Para ambos os casos foram assumidas as seguintes hipóteses:

- (1) Manutenção do preço relativo gasolina/gás;
- (2) Aumento do diferencial relativo gasolina/gás em 2 % ao ano;
- (3) Diminuição do diferencial relativo gasolina/gás em 2 % ao ano;
- (4) Concessão de um subsídio a fundo perdido de 30 % ao investimento.

Foi efectuada uma análise de sensibilidade, tendo estas hipóteses sido testadas para um período de tempo, de 8, 10 e 12 anos.

O preço do gás natural é muito variável de país para país e depende da política da companhia de distribuição. De acordo com elementos fornecidos pela SINTESI (Società Innovazione Tecnologica e Sviluppo Industriale), considerou-se um preço de gás natural comprimido de 544 Liras por m³, a 200 bar, incluindo o imposto e o custo de compressão e distribuição. O custo de compressão (com energia eléctrica) é de cerca de 35 Liras por m³.

De acordo com a mesma fonte, os custos de manutenção dos veículos a gás natural são mais baixos que os que funcionam com combustíveis tradicionais, mas não foi indicado qualquer valor para esses custos.

7.2.1 Estudo para um veículo ligeiro de passageiros

Para o estudo de um veículo ligeiro de passageiros, foram consideradas duas situações: a conversão do veículo de modo a usar apenas gás natural (situação 1) e a conversão bi-fuel (gasolina/GNC) do veículo (situação 2).

No que respeita à situação 1, o custo de transformação de um veículo a gasolina num a GNC encontra-se em Itália (elementos fornecidos pela SINTESI), entre 1.8 e 2.5 milhões de Liras e depende do motor (injecção, conversor catalítico, etc) e da autonomia desejada (300 a 350 km). Deste modo, foram consideradas ainda duas situações: custo de conversão de 1.8 milhões de Liras, ou seja, 186426\$00 (situação 1 a) e custo de conversão de 2.5 milhões de Liras, ou seja, 258925\$00 (situação 1b).

No que respeita à situação 2 (conversão bi-fuel) consideraram-se, igualmente duas situações distintas: a situação 2a, em que se utiliza 50 % de gasolina e 50 % de GNC e a situação 2b em que se utiliza 30 % de gasolina e 70 % de GNC.

7.2.2 Estudo para um veículo pesado de passageiros

No estudo efectuado para um veículo pesado, foram igualmente admitidas duas situações: conversão de modo a utilizar apenas gás natural (situação 3) e conversão dual-fuel (situação 4).

De acordo com os elementos fornecidos pela SINTESI, o custo de transformação de um autocarro "Diesel" num a CNG, de modo a utilizar apenas gás natural varia entre 15 e 20 milhões de Liras (entre 1553550\$00 e 2071400\$00). Tendo por base estes valores foi definida a situação 3 (conversão de um veículo pesado de modo a usar apenas GNC) que, por sua vez foi dividida na situação 3 a (para um custo de conversão de 1553550\$00) e a situação 3 b (para um custo de conversão de 2071400\$00)

O custo de transformação de um autocarro "Diesel" num sistema "dual-fuel", encontra-se, segundo a SINTESI, entre 8 e 10 milhões de Liras, ou seja, entre 828560\$00 e 1035700\$00. Foi considera-se uma situação 4 (conversão de um veículo pesado para um sistema "dual-fuel", tendo sido distinguidos dois casos: a conversão cujo custo é de 828560\$00 (situação 4 a) e a conversão cujo custo é de 1035700\$00 (situação 4 b).

8. Análise dos Resultados

8.1 Introdução

Neste capítulo são apresentados e analisados os resultados da aplicação da metodologia e os pressupostos apresentados no capítulo anterior, a fim de averiguar a rentabilidade económica na utilização de GNC num veículo ligeiro de passageiros e num veículo pesado de passageiros e qual será a melhor solução.

8.2 Veículo Ligeiro de Passageiros

Na situação 1, tendo em conta que o conteúdo energético da gasolina é de 33 MJ/L, o que equivale a 9,2 kWh, que o conteúdo energético do gás natural é de 36 MJ/m³, o que equivale a 10 kWh e que o veículo gasta cerca de 8 litros de gasolina por cada 100 km, verifica-se que para uma distância anual de 12 000 km, haverá uma poupança anuam em combustível, decorrente de uma transição para o gás natural de 99279\$50, tanto na situação 1a, como na situação 1b. Foi feito o mesmo raciocínio para as outras situações.

Os resultados obtidos para o VAL foram os seguintes:

**Quadro 8.1 Valor Actual Líquido (VAL)
na situação 1 a**

	n=8	n=10	n=12
1ª Hip.	312.016	385.089	445.479
2ª Hip.	352.276	440.436	516.240
3ª Hip.	275.057	335.401	383.297
4ª Hip.	362.859	435.932	496.323

**Quadro 8.2 Valor Actual Líquido (VAL)
na situação 1 b**

	n=8	n=10	n=12
1ª Hip.	246.108	319.180	379.571
2ª Hip.	286.368	374.528	450.331
3ª Hip.	209.149	269.492	317.389
4ª Hip.	316.724	389.796	450.187

Verifica-se que todos os valores VAL, para as diferentes hipóteses são positivos, o que leva a admitir que o projecto poderá ser implantado. Segundo este critério, o VAL positivo, significa que o utilizador do veículo recupera, durante o tempo de vida do projecto, o capital inicial investido na conversão, obtém um juro correspondente à taxa de actualização considerada (10 %), obtendo ainda um rendimento correspondente a esse Valor Actual Líquido. Obviamente que a situação

1b é mais desfavorável em termos financeiros, pois o período de recuperação do investimento é superior.

Os resultados obtidos para a Taxa Interna de Rentabilidade foram os seguintes:

**Quadro 8.3 Taxa Interna de Rentabilidade (%)
na situação 1 a**

	n=8	n=10	n=12
1ª Hip.	51	52	53
2ª Hip.	54	56	56
3ª Hip.	48	49	50
4ª Hip.	75	75	76

**Quadro 8.4 Taxa Interna de Rentabilidade (%)
na situação 1 b**

	n=8	n=10	n=12
1ª Hip.	35	37	38
2ª Hip.	38	39	40
3ª Hip.	32	34	35
4ª Hip.	53	54	54

Comparando estas taxas com uma taxa de juro do mercado financeiro de 10 %, verifica-se que este projecto é rentável, especialmente na hipótese 4, situação em que há um subsídio a fundo perdido de 30 % ao investimento, registando-se taxas internas de rentabilidade da ordem dos 70 % na situação 1a e de 50 % na situação 1b. A hipótese 3 (diminuição do preço relativo gasolina/gás natural) é de todas a mais desfavorável, mas mesmo assim apresenta valores bastante aceitáveis, tanto no que respeita ao VAL, como no que respeita à TIR.

O período de recuperação do investimento para a situação 1 a, situa-se entre 1 e 2 anos e entre 2 e 3 anos na situação b.

Os elementos necessários para a análise da situação 2 foram fornecidos pela empresa ELECTRABEL, de Bruxelas, com base num Renault Express a gasolina. O custo de transformação do referido veículo num veículo bi-fuel GNC/gasolina é de 92000 BEF, ou seja, 458316\$00.

**Quadro 8.5 Valor Actual Líquido (VAL)
na situação 2 a**

	n=8	n=10	n=12
1ª Hip.	-175.905	-139.369	-109.174
2ª Hip.	-155.775	-111.695	-73.794
3ª Hip.	-194.385	-164.213	-140.265
4ª Hip.	-50.910	-14.374	15.822

**Quadro 8.6 Valor Actual Líquido (VAL)
na situação 2 b**

	n=8	n=10	n=12
1ª Hip.	-79.333	-28.141	14.166
2ª Hip.	-51.128	10.634	63.739
3ª Hip.	-105.226	-62.951	-29.396
4ª Hip.	45.662	96.854	139.162

Constata-se que esta solução não se apresenta, em termos gerais, viável, uma vez que os VAL são na maior parte dos casos negativos, o que significa que o projecto não deverá ser implantado, a não ser que seja utilizada uma proporção de gás natural comprimido demasiado elevada e com um subsídio ao investimento. De facto, na situação 2a, até mesmo na hipótese 4 (subsídio a fundo perdido ao investimento), o VAL só é positivo para um período de tempo de 12 anos.

Na situação 2 b, existe viabilidade económica apenas na hipótese 2, para períodos de 10 e 12 anos e na hipótese 4, para os três períodos considerados.

**Quadro 8.7 Taxa Interna de Rentabilidade (%)
na situação 2 a**

	n=8	n=10	n=12
1ª Hip.	-3	1	4
2ª Hip.	-1	4	6
3ª Hip.	-5	-1	2
4ª Hip.	5	9	11

**Quadro 8.8 Taxa Interna de Rentabilidade (%)
na situação 2 b**

	n=8	n=10	n=12
1ª Hip.	5	8	11
2ª Hip.	7	11	13
3ª Hip.	2	6	8
4ª Hip.	14	17	19

A partir dos resultados obtidos, conclui-se que a conversão bi-fuel não é vantajosa para níveis de utilização de gás natural muito baixos. Na situação 2a os valores da TIR são, em algumas das hipóteses negativos e, noutras positivos mas muito baixos. São necessários 12 anos e um subsídio a fundo perdido ao investimento para obter uma TIR superior a 10 %. No que respeita à situação 2b, os resultados não são tão desfavoráveis. O projecto terá viabilidade económica na hipótese 4, na segunda hipótese 1, para um período de 12 anos e na hipótese 2, para períodos de 10 e de 12 anos. É de notar que estes resultados não são contraditórios com os obtidos para o VAL.

O período de recuperação do investimento, encontra-se entre os 9 e os 10 anos na situação 2 a e entre os 6 e 7 anos na situação 2 b.

8.3 Veículo Pesado de Passageiros

Foram obtidos os seguintes resultados para o estudo efectuado um veículo pesado, convertido de modo a utilizar apenas gás natural:

**Quadro 8.9 Valor Actual Líquido (VAL)
na situação 3 a**

	n=8	n=10	n=12
1º Hip.	4.660.404	5.582.015	6.343.676
2º Hip.	5.168.175	6.280.074	7.236.124
3º Hip.	4.194.266	4.955.340	5.559.417
4º Hip.	5.084.100	6.005.710	6.767.372

**Quadro 8.10 Valor Actual Líquido (VAL)
na situação 3 b**

	n=8	n=10	n=12
1º Hip.	4.189.631	5.111.242	5.872.904
2º Hip.	4.697.402	5.809.302	6.765.752
3º Hip.	3.723.493	4.484.566	5.088.644
4º Hip.	4.754.559	5.676.169	6.437.831

Os valores obtidos para o VAL, para além de serem positivos, são bastante elevados, pelo que se poderá referir que, de acordo com este critério, o projecto tem uma grande rentabilidade, tanto na situação 3 a como na situação 3 b.

**Quadro 8.11 Taxa Interna de Rentabilidade (%)
na situação 3 a**

	n=8	n=10	n=12
1º Hip.	80	80	81
2º Hip.	83	84	84
3º Hip.	76	77	77
4º Hip.	115	115	115

**Quadro 8.12 Taxa Interna de Rentabilidade (%)
na situação 3 b**

	n=8	n=10	n=12
1º Hip.	59	60	60
2º Hip.	62	63	63
3º Hip.	56	57	57
4º Hip.	86	86	86

Com base no critério da TIR, embora a situação 3 a seja a mais vantajosa, ambas as situações possuem viabilidade económica, pois são sempre superiores a 56 %, chegando a atingir os 115 % na situação 3 a, hipótese 4. Se estes resultados forem comparados com uma taxa de juro de 10 %, evidenciarão uma viabilidade muito superior.

O período de recuperação do investimento é inferior a um ano em ambas as situações.

Foram obtidos os seguintes resultados para o VAL, na situação 4.

**Quadro 8.13 Valor Actual Líquido (VAL)
na situação 4 a**

	n=8	n=10	n=12
1º Hip.	5.319.486	6.241.096	7.002.758
2º Hip.	5.827.257	6.939.156	7.895.206
3º Hip.	4.853.348	5.614.421	6.218.499
4º Hip.	5.545.457	6.467.067	7.228.729

**Quadro 8.14 Valor Actual Líquido (VAL)
na situação 4 b**

	n=8	n=10	n=12
1º Hip.	5.131.177	6.052.787	6.814.449
2º Hip.	5.638.948	6.750.847	7.706.897
3º Hip.	4.665.039	5.426.112	6.030.189
4º Hip.	5.413.640	6.335.251	7.096.913

Os resultados são, como se pode observar, positivos e muito elevados atingindo, nas hipóteses mais favoráveis, valores superiores a 7 mil contos. Por outro lado, os valores do VAL são sempre superiores a 4 mil contos. Com base nestes valores, pode considerar-se que o projecto é rentável, na situação 4.

**Quadro 7.15 Taxa Interna de Rentabilidade (%)
na situação 4 a**

	n=8	n=10	n=12
1º Hip.	151	151	151
2º Hip.	156	156	156
3º Hip.	146	146	146
4º Hip.	216	216	216

**Quadro 7.16 Taxa Interna de Rentabilidade (%)
na situação 4 b**

	n=8	n=10	n=12
1º Hip.	121	121	121
2º Hip.	125	125	125
3º Hip.	116	116	116
4º Hip.	173	173	173

Também os valores obtidos para a TIR são muito favoráveis para a situação 4, especialmente a 4 a, que tem um investimento inicial com um custo inferior. Na situação 4 a, são obtidos valores para a TIR de 216 %, na hipótese 4 e de 156 % na hipótese 2. Igualmente bastante favoráveis, embora não tão bons, são os resultados obtidos para a situação 4 b, que atingem os 173 % na hipótese 4 e são sempre superiores a 100 %. Este projecto tem uma boa viabilidade económica podendo, pois,

ser implantado com bons resultados. Trata-se da alternativa mais viável para Portugal, das quatro que foram estudadas.

O período de recuperação do investimento na situação 4 a situa-se entre 1 e 2, excepto na hipótese 4, em que é inferior a um ano. Na situação 4 b encontra-se entre 1 e 2 anos.

Em qualquer das hipóteses o utilizador do veículo recupera, durante o tempo de vida do projecto, o capital investido na conversão, obtém um juro correspondente à taxa de actualização considerada (10 %), e obtém também um rendimento correspondente a esse Valor Actual Líquido, que é muito mais elevado que o que foi obtido para o veículo ligeiro de passageiros. No entanto, cabe aqui referir que o investimento na conversão também foi muito superior ao do veículo ligeiro, nas várias situações.

Como conclusão final poder-se-á referir que são os veículos pesados, tanto em aplicações para uso exclusivo de gás natural, como em aplicações "dual-fuel", que têm as TIR e os VAL mais elevados e os menores períodos de recuperação do investimento, sendo, deste modo, os que apresentam a maior rentabilidade económica. Os veículos ligeiros também poderão ter alguma rentabilidade económica, se forem convertidos só para utilização de gás natural, pois as conversões "bi-fuel" só terão rentabilidade em condições muito excepcionais e com um grande consumo de gás natural.

9. CONCLUSÕES

O sistema de transportes é fundamental para o bem-estar da sociedade. O desenvolvimento económico tem conduzido a uma maior utilização dos transportes e a um subsequente aumento do consumo de energia.

O transporte urbano é função da localização das actividades e do ordenamento do território. De um modo geral, à medida que aumenta o nível de vida, aumentam também as necessidades de mobilidade das populações e a tendência para usar o transporte individual. A flexibilidade do automóvel, faz com que a população prefira utilizar o seu veículo próprio para transporte local e regional. O transporte individual domina, geralmente, o transporte local e regional.

Verificam-se, nas áreas urbanas, grandes conflitos entre os benefícios da utilização do transporte individual e certos efeitos negativos em termos de congestionamento, desperdício de energia e impactes ambientais. Têm sido propostas e testadas várias medidas, entre as quais uma repartição modal com maior peso do transporte público e a gestão de tráfego.

A segurança energética é, hoje em dia, um factor bastante valorizado. Todos os países procuram ter disponibilidade de energia em quantidades e custos que permitam sustentar o crescimento económico. Têm sido estudadas várias alternativas aos combustíveis tradicionais, tendo cada uma delas vantagens e desvantagens. Porém, algumas encontram-se ainda numa fase muito incipiente de investigação e/ou apresentam custos demasiado elevados para que sejam utilizadas como combustível nos transportes.

O gás natural é uma fonte de energia alternativa abundante e um excelente combustível para veículos. As principais razões para a adopção deste combustível são de natureza económica e ambiental. A adopção do gás natural como combustível contribui também para a diversificação das fontes energéticas, permitindo uma menor dependência do petróleo importado.

As características do gás natural como combustível para veículos podem ser exploradas, empregando a tecnologia adequada. A melhor "performance", em termos de eficiência e emissões só será obtida a partir de veículos com motores para uso exclusivo de gás natural.

Durante a última década a consciência pública sobre os problemas ambientais associados ao sector dos transportes tem focado a atenção nos chamados combustíveis "limpos". Tem-se aberto, assim, uma significativa oportunidade para o gás natural, que, com a aplicação de tecnologia adequada, poderá contribuir, significativamente, para uma redução das emissões, em especial, nas áreas urbanas, onde os efeitos da poluição atmosférica são mais fortes. Porém, os desenvolvimentos relativos combustíveis líquidos e aos respectivos motores, apoiados por grandes recursos financeiros, estão a mostrar resultados prometedores.

O gás natural tem um excelente recorde de segurança existindo, para isso, duas principais razões: as suas próprias propriedades físicas e a integridade estrutural do sistema de armazenamento de combustível.

Os níveis de ruído, tanto dentro como fora dos veículos a GNC são, em média, mais baixos que em veículos a gasóleo. Este resultado adquire uma importância ainda maior, quando se considera que a poluição sonora em áreas urbanas é quase inteiramente gerada por veículos motorizados.

Embora existam incentivos económicos, apresentam-se também obstáculos, tais como a baixa densidade energética do gás natural (que dá origem a uma reduzida autonomia do veículo), a escassez de infra-estruturas de reabastecimento, que têm dificultado a penetração do gás natural como combustível de transporte. Um outro aspecto bastante importante é a não existência de linhas de produção em grande escala de veículos destinados ao uso exclusivo de gás natural.

O armazenamento do combustível dentro do veículo constitui um problema adicional, pois os convencionais reservatórios de aço têm um peso excessivo e os novos reservatórios compósitos não são aceites por todos os países e são extremamente dispendiosos.

A intervenção do Estado é importante para incentivar a adopção de veículos a gás natural, através de uma política fiscal favorável ao gás natural, de subsídios directos e apoiando o desenvolvimento, pelo menos no curto prazo, até que os custos de tecnologia sejam reduzidos e exista uma infra-estrutura de abastecimento significativa. O tipo de apoio governamental depende das circunstâncias particulares de cada país mas, numa fase inicial, são sempre importantes os apoios à expansão das redes de abastecimento de combustível, pois estas envolvem custos muito elevados.

Por outro lado, é necessária a formação em manutenção de veículos a gás natural, em instituições técnicas, como parte de um plano de desenvolvimento da rede de serviços.

Apesar de os motores e tecnologias dos veículos para uso de gás natural como combustível, se encontrarem já bastante desenvolvidos, ainda não são os ideais, tendo a investigação sido, ultimamente orientada para os sistemas do controle de motor e da mistura gás/ar, utilização de biogás como combustível, efeitos da composição do gás natural sobre a "performance" do motor e as emissões de escape, controle catalítico das emissões, estratégias de combustão e cilindros de armazenamento do combustível mais leves.

Foram estabelecidas várias coligações regionais e internacionais com o objectivo de promover, a um nível político e industrial, a adopção do veículo a gás natural, desenvolvendo planos estratégicos com acções e objectivos definidos. Os membros de associações, tais como a Associação Internacional para os Veículos a Gás Natural, têm contribuído para o desenvolvimento de padrões e os fabricantes de equipamento original estão também cada vez mais envolvidos na promoção do veículo a gás natural, devendo ser ainda mais encorajados.

Apesar dos seus benefícios potenciais em termos de segurança energética e ambientais, os combustíveis alternativos de transporte encontram-se, em geral, ainda rodeados de incertezas no que respeita à sua viabilidade técnica e económica. Podem existir dificuldades relacionadas com a infra-estrutura de distribuição e a aceitação por parte do utilizador. O progresso tecnológico e o desenvolvimento do mercado serão, por consequência, necessários antes que os seus benefícios ambientais possam ser plenamente obtidos.

Os álcoois têm sido testados em vários tipos de motor, tendo-se chegado à conclusão de que produzem benefícios, mas também criam novos problemas ambientais, tais como a emissão de aldeídos. Os melhores resultados em termos ambientais têm sido obtidos em motores do "Ciclo Otto". Porém, ainda não se encontram disponíveis no mercado motores adequados para a utilização de álcoois. Como resultado do baixo nível de eficiência obtido com este tipo de motor e do elevado custo do combustível, existem dúvidas de que estes combustíveis venham a ser utilizados num futuro próximo. O baixo conteúdo em energia dos álcoois resulta num aumento do peso dos reservatórios e numa redução da capacidade de transporte.

Os recursos da biomassa têm a vantagem de ser renováveis, podendo ser abundantes em certas áreas, mas a produção de combustível em larga escala enfrenta uma quantidade de desafios técnicos e custo relativamente elevado.

Considera-se também improvável que o hidrogénio e os óleos vegetais tenham uma contribuição significativa como combustíveis, num futuro próximo, devido à fase incipiente em que ainda se encontram e aos elevados custos envolvidos.

A produção de gasolinas e gasóleos sintéticos a partir do gás natural encontra-se também numa fase experimental, enfrentando um elevado custo de capital para a conversão e concorrência dos produtos do petróleo, pelo que será necessário aumentar a sua eficiência, de modo a que estes combustíveis se tornem mais competitivos.

O GPL é utilizado em diversos países, constituindo uma alternativa válida aos combustíveis tradicionais. De entre as desvantagens do GPL em relação ao GNC salientam-se as seguintes: o GPL tem um maior custo de produção que o GNC, menor segurança no caso de fugas e, sendo derivado do petróleo, não constitui uma alternativa em termos de diversificação das fontes energéticas. A principal vantagem do GPL em relação ao GNC é o facto de o veículo necessitar de uma menor capacidade de armazenamento para a mesma autonomia.

Em Portugal, os transportes rodoviários estão quase inteiramente dependentes do petróleo. No entanto, têm sido adoptadas, ultimamente, medidas com vista à utilização racional de energia e diversificação das fontes energéticas no sector dos transportes.

Feita uma análise de rentabilidade económica da utilização de gás natural nos transportes rodoviários de passageiros, em Portugal, verificou-se que este combustível poderá ser utilizado como grandes vantagens em veículos pesados, especialmente, com utilização de sistemas de conversão "dual-fuel".



Quanto aos veículos rodoviários ligeiros de passageiros, os seus proprietários poderão ter vantagens económicas decorrentes da conversão para uso exclusivo de gás natural, mas a conversão "bi-fuel" é de acordo com o referido estudo, em geral, desaconselhada, dados os elevados custos de conversão envolvidos, só devendo ser efectado com a utilização de uma proporção muito elevada de GNC face à gasolina e em hipóteses muito favoráveis, tais como a concessão de subsídios a fundo perdido ao investimento.

É de referir que a introdução do gás natural em Portugal vai levar alguns anos, após os quais será necessário um longo período de tempo até que existam estações de reabastecimento de GNC e mecânicos especializados em quantidade suficiente para permitir uma utilização adequada e vantajosa do veículo a gás natural.

ANEXOS

ANEXO 1

Análise Económica para um veículo ligeiro de passageiros**Conversão de um veículo a gasolina para CNG**

(Sistema para uso exclusivo de CNG)

Tipo convencional de combustível: gasolina

Conteúdo energético da gasolina: 33 MJ/L = 9 Kwh

Preço da gasolina: 155\$00/L

Combustível alternativo: gás natural comprimido

Conteúdo energético do gás natural: 36 MJ/m³ = 10 KwhDensidade do gás natural: 0.75 Kg/m³Preço do gás natural comprimido: 544 liras/m³ = 56\$30/m³

Taxa de câmbio da Lira em 13.07.94 = 0\$10357000

De acordo com o conteúdo energético dos combustíveis,
1 metro cúbico de gás natural corresponde a 1.1 litros de gasolina.

Distância anual percorrida pelo veículo: 12000 Km

Consumo de gasolina: 8 L/100 Km

31680 MJ/ano correspondem a 8 L/100 Km de gasolina e a
7.33 m³/100 Km de CNG

Valor anual da gasolina substituída: 148800\$00

Despesas anuais em CNG: 49521\$50

Poupança anual em combustíveis: 99278\$50

Custo de conversão do veículo: entre 1.800000 Liras e 2.500000 Liras
(entre 186426\$00 e 258925\$00)

Análise de sensibilidade para um custo de conversão de 186426\$00

Hipótese 1 = Manutenção do preço relativo gasolina/gás natural

n = 8

Anos	Custo de Investimento	Poupanças em Combustível	Cash-Flow
0	-186426,00	0,00	-186426,00
1	0,00	99278,50	99278,50
2	0,00	99278,50	99278,50
3	0,00	99278,50	99278,50
4	0,00	99278,50	99278,50
5	0,00	99278,50	99278,50
6	0,00	99278,50	99278,50
7	0,00	99278,50	99278,50
8	0,00	99278,50	99278,50
		VAL =	312.015,88 Esc
		TIR =	51%

n = 10

Anos	Custo de Investimento	Poupanças em Combustível	Cash-Flow
0	-186426,00	0,00	-186426,00
1	0,00	99278,50	99278,50
2	0,00	99278,50	99278,50
3	0,00	99278,50	99278,50
4	0,00	99278,50	99278,50
5	0,00	99278,50	99278,50
6	0,00	99278,50	99278,50
7	0,00	99278,50	99278,50
8	0,00	99278,50	99278,50
9	0,00	99278,50	99278,50
10	0,00	99278,50	99278,50
		VAL =	385.088,55 Esc
		TIR =	52%

n = 12

Anos	Custo de Investimento	Poupanças em Combustível	Cash-Flow
0	-186426,00	0,00	-186426,00
1	0,00	99278,50	99278,50
2	0,00	99278,50	99278,50
3	0,00	99278,50	99278,50
4	0,00	99278,50	99278,50
5	0,00	99278,50	99278,50
6	0,00	99278,50	99278,50
7	0,00	99278,50	99278,50
8	0,00	99278,50	99278,50
9	0,00	99278,50	99278,50
10	0,00	99278,50	99278,50
11	0,00	99278,50	99278,50
12	0,00	99278,50	99278,50
		VAL =	445.479,19 Esc
		TIR =	53%

Hipótese 2 = Aumento do preço relativo gasolina/gás natural em 2% ao ano
n = 8

Anos	Custo de Investimento	Poupanças em Combustível	Cash-Flow
0	-186426,00	0,00	-186426,00
1	0,00	101264,07	101264,07
2	0,00	103289,35	103289,35
3	0,00	105355,14	105355,14
4	0,00	107462,24	107462,24
5	0,00	109611,49	109611,49
6	0,00	111803,72	111803,72
7	0,00	114039,79	114039,79
8	0,00	116320,59	116320,59
		VAL =	352.276,02 Esc
		TIR =	54%

n = 10

Anos	Custo de Investimento	Poupanças em Combustível	Cash-Flow
0	-186426,00	0,00	-186426,00
1	0,00	101264,07	101264,07
2	0,00	103289,35	103289,35
3	0,00	105355,14	105355,14
4	0,00	107462,24	107462,24
5	0,00	109611,49	109611,49
6	0,00	111803,72	111803,72
7	0,00	114039,79	114039,79
8	0,00	116320,59	116320,59
9	0,00	118647,00	118647,00
10	0,00	121019,94	121019,94
		VAL =	440.436,33 Esc
		TIR =	56%

n = 12

Anos	Custo de Investimento	Poupanças em Combustível	Cash-Flow
0	-186426,00	0,00	-186426,00
1	0,00	101264,07	101264,07
2	0,00	103289,35	103289,35
3	0,00	105355,14	105355,14
4	0,00	107462,24	107462,24
5	0,00	109611,49	109611,49
6	0,00	111803,72	111803,72
7	0,00	114039,79	114039,79
8	0,00	116320,59	116320,59
9	0,00	118647,00	118647,00
10	0,00	121019,94	121019,94
11	0,00	123440,34	123440,34
12	0,00	125909,14	125909,14
VAL =			516.239,62 Esc
TIR =			56%

Hipótese 3 = Diminuição do preço relativo gasolina/gás natural em 2 % ao ano

n = 8

Anos	Custo de Investimento	Poupanças em Combustível	Cash-Flow
0	-186426,00	0,00	-186426,00
1	0,00	97292,93	97292,93
2	0,00	95347,07	95347,07
3	0,00	93440,13	93440,13
4	0,00	91571,33	91571,33
5	0,00	89739,90	89739,90
6	0,00	87945,10	87945,10
7	0,00	86186,20	86186,20
8	0,00	84462,48	84462,48
VAL =			275.056,73 Esc
TIR =			48%

n = 10

Anos	Custo de Investimento	Poupanças em Combustível	Cash-Flow
0	-186426,00	0,00	-186426,00
1	0,00	97292,93	97292,93
2	0,00	95347,07	95347,07
3	0,00	93440,13	93440,13
4	0,00	91571,33	91571,33
5	0,00	89739,90	89739,90
6	0,00	87945,10	87945,10
7	0,00	86186,20	86186,20
8	0,00	84462,48	84462,48
9	0,00	82773,23	82773,23
10	0,00	81117,76	81117,76
VAL =			335.400,68 Esc
TIR =			49%

n = 12

Anos	Custo de Investimento	Poupanças em Combustível	Cash-Flow
0	-186426,00	0,00	-186426,00
1	0,00	97292,93	97292,93
2	0,00	95347,07	95347,07
3	0,00	93440,13	93440,13
4	0,00	91571,33	91571,33
5	0,00	89739,90	89739,90
6	0,00	87945,10	87945,10
7	0,00	86186,20	86186,20
8	0,00	84462,48	84462,48
9	0,00	82773,23	82773,23
10	0,00	81117,76	81117,76
11	0,00	79495,41	79495,41
12	0,00	77905,50	77905,50
		VAL =	383.296,81 Esc
		TIR =	50%

Hipótese 4 = Concessão de um subsídio a fundo perdido de 30 % do investimento
n = 8

Anos	Custo de Investimento	Poupanças em Combustível	Cash-Flow
0	-130498,20	0,00	-130498,20
1	0,00	99278,50	99278,50
2	0,00	99278,50	99278,50
3	0,00	99278,50	99278,50
4	0,00	99278,50	99278,50
5	0,00	99278,50	99278,50
6	0,00	99278,50	99278,50
7	0,00	99278,50	99278,50
8	0,00	99278,50	99278,50
		VAL =	362.859,34 Esc
		TIR =	75%

n = 10

Anos	Custo de Investimento	Poupanças em Combustível	Cash-Flow
0	-130498,20	0,00	-130498,20
1	0,00	99278,50	99278,50
2	0,00	99278,50	99278,50
3	0,00	99278,50	99278,50
4	0,00	99278,50	99278,50
5	0,00	99278,50	99278,50
6	0,00	99278,50	99278,50
7	0,00	99278,50	99278,50
8	0,00	99278,50	99278,50
9	0,00	99278,50	99278,50
10	0,00	99278,50	99278,50
		VAL =	435.932,00 Esc
		TIR =	76%

n = 12

Anos	Custo de Investimento	Poupanças em Combustível	Cash-Flow
0	-130498,20	0,00	-130498,20
1	0,00	99278,50	99278,50
2	0,00	99278,50	99278,50
3	0,00	99278,50	99278,50
4	0,00	99278,50	99278,50
5	0,00	99278,50	99278,50
6	0,00	99278,50	99278,50
7	0,00	99278,50	99278,50
8	0,00	99278,50	99278,50
9	0,00	99278,50	99278,50
10	0,00	99278,50	99278,50
11	0,00	99278,50	99278,50
12	0,00	99278,50	99278,50
		VAL =	496.322,64 Esc
		TIR =	76%

Análise Económica para um veículo ligeiro de passageiros

Conversão de um veículo a gasolina para CNG

(Sistema para uso exclusivo de CNG)

Tipo convencional de combustível: gasolina

Conteúdo energético da gasolina: 33 MJ/L = 9 Kwh

Preço da gasolina: 155\$00/L

Combustível alternativo: gás natural comprimido

Conteúdo energético do gás natural: 36 MJ/m³ = 10 Kwh

Densidade do gás natural: 0.75 Kg/m³

Preço do gás natural comprimido: 544 liras/m³ = 56\$30/m³

Taxa de câmbio da Lira em 13.07.94 = 0\$10357000

De acordo com o conteúdo energético dos combustíveis,
1 metro cúbico de gás natural corresponde a 1.1 litros de gasolina.

Distância anual percorrida pelo veículo: 12000 Km

Consumo de gasolina: 8 L/100 Km

31680 MJ/ano correspondem a 8 L/100 Km de gasolina e a
7.33 m³/100 Km de CNG

Valor anual da gasolina substituída: 148800\$00

Despesas anuais em CNG: 49521\$50

Poupança anual em combustíveis: 99278\$50

Custo de conversão do veículo: entre 1.800000 Liras e 2.500000 Liras
(entre 186426\$00 e 258925\$00)

Análise de sensibilidade para um custo de conversão de 258925\$00

Hipótese 1 = Manutenção do preço relativo gasolina/gás natural

n = 8

Anos	Custo de Investimento	Poupanças em Combustível	Cash-Flow
0	-258925,00	0,00	-258925,00
1	0,00	99278,50	99278,50
2	0,00	99278,50	99278,50
3	0,00	99278,50	99278,50
4	0,00	99278,50	99278,50
5	0,00	99278,50	99278,50
6	0,00	99278,50	99278,50
7	0,00	99278,50	99278,50
8	0,00	99278,50	99278,50
		VAL =	246.107,70 Esc
		TIR =	35%

n = 10

Anos	Custo de Investimento	Poupanças em Combustível	Cash-Flow
0	-258925,00	0,00	-258925,00
1	0,00	99278,50	99278,50
2	0,00	99278,50	99278,50
3	0,00	99278,50	99278,50
4	0,00	99278,50	99278,50
5	0,00	99278,50	99278,50
6	0,00	99278,50	99278,50
7	0,00	99278,50	99278,50
8	0,00	99278,50	99278,50
9	0,00	99278,50	99278,50
10	0,00	99278,50	99278,50
		VAL =	319.180,37 Esc
		TIR =	37%

n = 12

Anos	Custo de Investimento	Poupanças em Combustível	Cash-Flow
0	-258925,00	0,00	-258925,00
1	0,00	99278,50	99278,50
2	0,00	99278,50	99278,50
3	0,00	99278,50	99278,50
4	0,00	99278,50	99278,50
5	0,00	99278,50	99278,50
6	0,00	99278,50	99278,50
7	0,00	99278,50	99278,50
8	0,00	99278,50	99278,50
9	0,00	99278,50	99278,50
10	0,00	99278,50	99278,50
11	0,00	99278,50	99278,50
12	0,00	99278,50	99278,50
		VAL =	379.571,00 Esc
		TIR =	38%

Hipótese 2 = Aumento do preço relativo gasolina/gás natural em 2% ao ano
n = 8

Anos	Custo de Investimento	Poupanças em Combustível	Cash-Flow
0	-258925,00	0,00	-258925,00
1	0,00	101264,07	101264,07
2	0,00	103289,35	103289,35
3	0,00	105355,14	105355,14
4	0,00	107462,24	107462,24
5	0,00	109611,49	109611,49
6	0,00	111803,72	111803,72
7	0,00	114039,79	114039,79
8	0,00	116320,59	116320,59
		VAL =	286.367,84 Esc
		TIR =	38%

n = 10

Anos	Custo de Investimento	Poupanças em Combustível	Cash-Flow
0	-258925,00	0,00	-258925,00
1	0,00	101264,07	101264,07
2	0,00	103289,35	103289,35
3	0,00	105355,14	105355,14
4	0,00	107462,24	107462,24
5	0,00	109611,49	109611,49
6	0,00	111803,72	111803,72
7	0,00	114039,79	114039,79
8	0,00	116320,59	116320,59
9	0,00	118647,00	118647,00
10	0,00	121019,94	121019,94
		VAL =	374.528,14 Esc
		TIR =	39%

n = 12

Anos	Custo de Investimento	Poupanças em Combustível	Cash-Flow
0	-258925,00	0,00	-258925,00
1	0,00	101264,07	101264,07
2	0,00	103289,35	103289,35
3	0,00	105355,14	105355,14
4	0,00	107462,24	107462,24
5	0,00	109611,49	109611,49
6	0,00	111803,72	111803,72
7	0,00	114039,79	114039,79
8	0,00	116320,59	116320,59
9	0,00	118647,00	118647,00
10	0,00	121019,94	121019,94
11	0,00	123440,34	123440,34
12	0,00	125909,14	125909,14
		VAL =	450.331,43 Esc
		TIR =	40%

Hipótese 3 = Diminuição do preço relativo gasolina/gás natural em 2% ao ano

n = 8

Anos	Custo de Investimento	Poupanças em Combustível	Cash-Flow
0	-258925,00	0,00	-258925,00
1	0,00	97292,93	97292,93
2	0,00	95347,07	95347,07
3	0,00	93440,13	93440,13
4	0,00	91571,33	91571,33
5	0,00	89739,90	89739,90
6	0,00	87945,10	87945,10
7	0,00	86186,20	86186,20
8	0,00	84462,48	84462,48
		VAL =	209.148,55 Esc
		TIR =	32%

n = 10

Anos	Custo de Investimento	Poupanças em Combustível	Cash-Flow
0	-258925,00	0,00	-258925,00
1	0,00	97292,93	97292,93
2	0,00	95347,07	95347,07
3	0,00	93440,13	93440,13
4	0,00	91571,33	91571,33
5	0,00	89739,90	89739,90
6	0,00	87945,10	87945,10
7	0,00	86186,20	86186,20
8	0,00	84462,48	84462,48
9	0,00	82773,23	82773,23
10	0,00	81117,76	81117,76
		VAL =	269.492,49 Esc
		TIR =	34%

n = 12

Anos	Custo de Investimento	Poupanças em Combustível	Cash-Flow
0	-258925,00	0,00	-258925,00
1	0,00	97292,93	97292,93
2	0,00	95347,07	95347,07
3	0,00	93440,13	93440,13
4	0,00	91571,33	91571,33
5	0,00	89739,90	89739,90
6	0,00	87945,10	87945,10
7	0,00	86186,20	86186,20
8	0,00	84462,48	84462,48
9	0,00	82773,23	82773,23
10	0,00	81117,76	81117,76
11	0,00	79495,41	79495,41
12	0,00	77905,50	77905,50
		VAL =	317.388,63 Esc
		TIR =	35%

Hipótese 4 = Concessão de um subsídio a fundo perdido de 30 % do investimento

n = 8

Anos	Custo de Investimento	Poupanças em Combustível	Cash-Flow
0	-181247,50	0,00	-181247,50
1	0,00	99278,50	99278,50
2	0,00	99278,50	99278,50
3	0,00	99278,50	99278,50
4	0,00	99278,50	99278,50
5	0,00	99278,50	99278,50
6	0,00	99278,50	99278,50
7	0,00	99278,50	99278,50
8	0,00	99278,50	99278,50
		VAL =	316.723,61 Esc
		TIR =	53%

n = 10

Anos	Custo de Investimento	Poupanças em Combustível	Cash-Flow
0	-181247,50	0,00	-181247,50
1	0,00	99278,50	99278,50
2	0,00	99278,50	99278,50
3	0,00	99278,50	99278,50
4	0,00	99278,50	99278,50
5	0,00	99278,50	99278,50
6	0,00	99278,50	99278,50
7	0,00	99278,50	99278,50
8	0,00	99278,50	99278,50
9	0,00	99278,50	99278,50
10	0,00	99278,50	99278,50
		VAL =	389.796,28 Esc
		TIR =	54%

n = 12

Anos	Custo de Investimento	Poupanças em Combustível	Cash-Flow
0	-181247,50	0,00	-181247,50
1	0,00	99278,50	99278,50
2	0,00	99278,50	99278,50
3	0,00	99278,50	99278,50
4	0,00	99278,50	99278,50
5	0,00	99278,50	99278,50
6	0,00	99278,50	99278,50
7	0,00	99278,50	99278,50
8	0,00	99278,50	99278,50
9	0,00	99278,50	99278,50
10	0,00	99278,50	99278,50
11	0,00	99278,50	99278,50
12	0,00	99278,50	99278,50
		VAL =	450.186,91 Esc
		TIR =	54%

ΑΠΕΧΘ 2

Análise Económica para um veículo ligeiro de passageiros

Conversão "bi-fuel" (gasolina/CNG)

Tipo convencional de combustível: gasolina

Conteúdo energético da gasolina: 33 MJ/L = 9 Kwh

Preço da gasolina: 155\$00/L

Combustível alternativo: gás natural comprimido

Conteúdo energético do gás natural: 36 MJ/m³ = 10 Kwh

Densidade do gás natural: 0.75 Kg/m³

Preço do gás natural comprimido: 544 liras/m³ = 56\$30/m³

Taxa de câmbio da Lira em 13.07.94 = 0\$10357000

De acordo com o conteúdo energético dos combustíveis,
1 metro cúbico de gás natural corresponde a 1.1 litros de gasolina.

Distância anual percorrida pelo veículo: 12000 Km

Consumo de gasolina: 8 L/100 Km

31680 MJ/ano correspondem a 8 L/100 Km de gasolina e a
7.33 m³/100 Km de CNG

Valor anual da gasolina substituída: 74400\$00

(com utilização de 50 % de gasolina e 50 % de gás natural)

Despesas anuais em CNG: 24761\$00

Poupança anual em combustíveis: 49639\$00

Custo de conversão do veículo: 92000 BEF = 458316\$00

Taxa de câmbio do BEF em 13.07.94 = 4\$98170000

Análise de sensibilidade

Hipótese 1 = Manutenção do preço relativo gasolina/gás natural

n = 8

Anos	Custo de Investimento	Poupanças em Combustível	Cash-Flow
0	-458316,00	0,00	-458316,00
1	0,00	49639,00	49639,00
2	0,00	49639,00	49639,00
3	0,00	49639,00	49639,00
4	0,00	49639,00	49639,00
5	0,00	49639,00	49639,00
6	0,00	49639,00	49639,00
7	0,00	49639,00	49639,00
8	0,00	49639,00	49639,00
		VAL =	(175.905,09 Esc)
		TIR =	-3%

n = 10

Anos	Custo de Investimento	Poupanças em Combustível	Cash-Flow
0	-458316,00	0,00	-458316,00
1	0,00	49639,00	49639,00
2	0,00	49639,00	49639,00
3	0,00	49639,00	49639,00
4	0,00	49639,00	49639,00
5	0,00	49639,00	49639,00
6	0,00	49639,00	49639,00
7	0,00	49639,00	49639,00
8	0,00	49639,00	49639,00
9	0,00	49639,00	49639,00
10	0,00	49639,00	49639,00
		VAL =	(139.368,94 Esc)
		TIR =	1%

n = 12

Anos	Custo de Investimento	Poupanças em Combustível	Cash-Flow
0	-458316,00	0,00	-458316,00
1	0,00	49639,00	49639,00
2	0,00	49639,00	49639,00
3	0,00	49639,00	49639,00
4	0,00	49639,00	49639,00
5	0,00	49639,00	49639,00
6	0,00	49639,00	49639,00
7	0,00	49639,00	49639,00
8	0,00	49639,00	49639,00
9	0,00	49639,00	49639,00
10	0,00	49639,00	49639,00
11	0,00	49639,00	49639,00
12	0,00	49639,00	49639,00
		VAL =	(109.173,77 Esc)
		TIR =	4%

Hipótese 2 = Aumento do preço relativo gasolina/gás natural em 2 % ao ano

n = 8

Anos	Custo de Investimento	Poupanças em Combustível	Cash-Flow
0	-458316,00	0,00	-458316,00
1	0,00	50631,78	50631,78
2	0,00	51644,42	51644,42
3	0,00	52677,30	52677,30
4	0,00	53730,85	53730,85
5	0,00	54805,47	54805,47
6	0,00	55901,58	55901,58
7	0,00	57019,61	57019,61
8	0,00	58160,00	58160,00
		VAL =	(155.775,12 Esc)
		TIR =	-1%

n = 10

Anos	Custo de Investimento	Poupanças em Combustível	Cash-Flow
0	-458316,00	0,00	-458316,00
1	0,00	50631,78	50631,78
2	0,00	51644,42	51644,42
3	0,00	52677,30	52677,30
4	0,00	53730,85	53730,85
5	0,00	54805,47	54805,47
6	0,00	55901,58	55901,58
7	0,00	57019,61	57019,61
8	0,00	58160,00	58160,00
9	0,00	59323,20	59323,20
10	0,00	60509,66	60509,66
		VAL =	(111.695,19 Esc)
		TIR =	4%

n = 12

Anos	Custo de Investimento	Poupanças em Combustível	Cash-Flow
0	-458316,00	0,00	-458316,00
1	0,00	50631,78	50631,78
2	0,00	51644,42	51644,42
3	0,00	52677,30	52677,30
4	0,00	53730,85	53730,85
5	0,00	54805,47	54805,47
6	0,00	55901,58	55901,58
7	0,00	57019,61	57019,61
8	0,00	58160,00	58160,00
9	0,00	59323,20	59323,20
10	0,00	60509,66	60509,66
11	0,00	61719,86	61719,86
12	0,00	62954,25	62954,25
		VAL =	(73.793,74 Esc)
		TIR =	6%

Hipótese 3 = Diminuição do preço relativo gasolina/gás natural em 2% ao ano

n = 8

Anos	Custo de Investimento	Poupanças em Combustível	Cash-Flow
0	-458316,00	0,00	-458316,00
1	0,00	48646,22	48646,22
2	0,00	47673,30	47673,30
3	0,00	46719,83	46719,83
4	0,00	45785,43	45785,43
5	0,00	44869,72	44869,72
6	0,00	43972,33	43972,33
7	0,00	43092,88	43092,88
8	0,00	42231,03	42231,03
		VAL =	(194.384,57 Esc)
		TIR =	-5%

n = 10

Anos	Custo de Investimento	Poupanças em Combustível	Cash-Flow
0	-458316,00	0,00	-458316,00
1	0,00	48646,22	48646,22
2	0,00	47673,30	47673,30
3	0,00	46719,83	46719,83
4	0,00	45785,43	45785,43
5	0,00	44869,72	44869,72
6	0,00	43972,33	43972,33
7	0,00	43092,88	43092,88
8	0,00	42231,03	42231,03
9	0,00	41386,41	41386,41
10	0,00	40558,68	40558,68
		VAL =	(164.212,75 Esc)
		TIR =	-1%

n = 12

Anos	Custo de Investimento	Poupanças em Combustível	Cash-Flow
0	-458316,00	0,00	-458316,00
1	0,00	48646,22	48646,22
2	0,00	47673,30	47673,30
3	0,00	46719,83	46719,83
4	0,00	45785,43	45785,43
5	0,00	44869,72	44869,72
6	0,00	43972,33	43972,33
7	0,00	43092,88	43092,88
8	0,00	42231,03	42231,03
9	0,00	41386,41	41386,41
10	0,00	40558,68	40558,68
11	0,00	39747,50	39747,50
12	0,00	38952,55	38952,55
		VAL =	(140.264,81 Esc)
		TIR =	2%

Hipótese 4 = Concessão de um subsídio a fundo perdido de 30% do investimento
n = 8

Anos	Custo de Investimento	Poupanças em Combustível	Cash-Flow
0	-320821,20	0,00	-320821,20
1	0,00	49639,00	49639,00
2	0,00	49639,00	49639,00
3	0,00	49639,00	49639,00
4	0,00	49639,00	49639,00
5	0,00	49639,00	49639,00
6	0,00	49639,00	49639,00
7	0,00	49639,00	49639,00
8	0,00	49639,00	49639,00
		VAL =	(50.909,82 Esc)
		TIR =	5%

n = 10

Anos	Custo de Investimento	Poupanças em Combustível	Cash-Flow
0	-320821,20	0,00	-320821,20
1	0,00	49639,00	49639,00
2	0,00	49639,00	49639,00
3	0,00	49639,00	49639,00
4	0,00	49639,00	49639,00
5	0,00	49639,00	49639,00
6	0,00	49639,00	49639,00
7	0,00	49639,00	49639,00
8	0,00	49639,00	49639,00
9	0,00	49639,00	49639,00
10	0,00	49639,00	49639,00
		VAL =	(14.373,67 Esc)
		TIR =	9%

n = 12

Anos	Custo de Investimento	Poupanças em Combustível	Cash-Flow
0	-320821,20	0,00	-320821,20
1	0,00	49639,00	49639,00
2	0,00	49639,00	49639,00
3	0,00	49639,00	49639,00
4	0,00	49639,00	49639,00
5	0,00	49639,00	49639,00
6	0,00	49639,00	49639,00
7	0,00	49639,00	49639,00
8	0,00	49639,00	49639,00
9	0,00	49639,00	49639,00
10	0,00	49639,00	49639,00
11	0,00	49639,00	49639,00
12	0,00	49639,00	49639,00
		VAL =	15.821,50 Esc
		TIR =	11%

Análise Económica para um veículo ligeiro de passageiros**Conversão "bi-fuel" (gasolina/CNG)**

Tipo convencional de combustível: gasolina
 Conteúdo energético da gasolina: 33 MJ/L = 9 Kwh
 Preço da gasolina: 155\$00/L

Combustível alternativo: gás natural comprimido
 Conteúdo energético do gás natural: 36 MJ/m³ = 10 Kwh
 Densidade do gás natural: 0.75 Kg/m³
 Preço do gás natural comprimido: 544 liras/m³ = 56\$30/m³
 Taxa de câmbio da Lira em 13.07.94 = 0\$10357000

De acordo com o conteúdo energético dos combustíveis,
 1 metro cúbico de gás natural corresponde a 1.1 litros de gasolina.

Distância anual percorrida pelo veículo: 12000 Km
 Consumo de gasolina: 8 L/100 Km

31680 MJ/ano correspondem a 8 L/100 Km de gasolina e a
 7.33 m³/100 Km de CNG

Valor anual da gasolina substituída: 104216\$00
 (com utilização de 70 % de CNG e 30 % de gasolina)
 Despesas anuais em CNG: 34665\$00
 Poupaça anual em combustíveis: 69551\$00
 Custo de conversão do veículo: 92000 BEF = 458316\$00
 Taxa de câmbio do BEF em 13.07.94 = 4\$98170000

Análise de sensibilidade

Hipótese 1 = Manutenção do preço relativo gasolina/gás natural

n = 8

Anos	Custo de Investimento	Poupanças em Combustível	Cash-Flow
0	-458316,00	0,00	-458316,00
1	0,00	69551,00	69551,00
2	0,00	69551,00	69551,00
3	0,00	69551,00	69551,00
4	0,00	69551,00	69551,00
5	0,00	69551,00	69551,00
6	0,00	69551,00	69551,00
7	0,00	69551,00	69551,00
8	0,00	69551,00	69551,00
		VAL =	(79.333,23 Esc)
		TIR =	5%

n = 10

Anos	Custo de Investimento	Poupanças em Combustível	Cash-Flow
0	-458316,00	0,00	-458316,00
1	0,00	69551,00	69551,00
2	0,00	69551,00	69551,00
3	0,00	69551,00	69551,00
4	0,00	69551,00	69551,00
5	0,00	69551,00	69551,00
6	0,00	69551,00	69551,00
7	0,00	69551,00	69551,00
8	0,00	69551,00	69551,00
9	0,00	69551,00	69551,00
10	0,00	69551,00	69551,00
		VAL =	(28.141,10 Esc)
		TIR =	8%

n = 12

Anos	Custo de Investimento	Poupanças em Combustível	Cash-Flow
0	-458316,00	0,00	-458316,00
1	0,00	69551,00	69551,00
2	0,00	69551,00	69551,00
3	0,00	69551,00	69551,00
4	0,00	69551,00	69551,00
5	0,00	69551,00	69551,00
6	0,00	69551,00	69551,00
7	0,00	69551,00	69551,00
8	0,00	69551,00	69551,00
9	0,00	69551,00	69551,00
10	0,00	69551,00	69551,00
11	0,00	69551,00	69551,00
12	0,00	69551,00	69551,00
		VAL =	14.166,44 Esc
		TIR =	11%

Hipótese 2 = Aumento do preço relativo gasolina/gás natural em 2 % ao ano

n = 8

Anos	Custo de Investimento	Poupanças em Combustível	Cash-Flow
0	-458316,00	0,00	-458316,00
1	0,00	70942,02	70942,02
2	0,00	72360,86	72360,86
3	0,00	73808,08	73808,08
4	0,00	75284,24	75284,24
5	0,00	76789,92	76789,92
6	0,00	78325,72	78325,72
7	0,00	79892,24	79892,24
8	0,00	81490,08	81490,08
		VAL =	(51.128,40 Esc)
		TIR =	7%

n = 10

Anos	Custo de Investimento	Poupanças em Combustível	Cash-Flow
0	-458316,00	0,00	-458316,00
1	0,00	70942,02	70942,02
2	0,00	72360,86	72360,86
3	0,00	73808,08	73808,08
4	0,00	75284,24	75284,24
5	0,00	76789,92	76789,92
6	0,00	78325,72	78325,72
7	0,00	79892,24	79892,24
8	0,00	81490,08	81490,08
9	0,00	83119,88	83119,88
10	0,00	84782,28	84782,28
		VAL =	10.633,59 Esc
		TIR =	11%

n = 12

Anos	Custo de Investimento	Poupanças em Combustível	Cash-Flow
0	-458316,00	0,00	-458316,00
1	0,00	70942,02	70942,02
2	0,00	72360,86	72360,86
3	0,00	73808,08	73808,08
4	0,00	75284,24	75284,24
5	0,00	76789,92	76789,92
6	0,00	78325,72	78325,72
7	0,00	79892,24	79892,24
8	0,00	81490,08	81490,08
9	0,00	83119,88	83119,88
10	0,00	84782,28	84782,28
11	0,00	86477,93	86477,93
12	0,00	88207,49	88207,49
		VAL =	63.738,69 Esc
		TIR =	13%

Hipótese 3 = Diminuição do preço relativo gasolina/gás natural em 2 % ao ano

n = 8

Anos	Custo de Investimento	Poupanças em Combustível	Cash-Flow
0	-458316,00	0,00	-458316,00
1	0,00	68159,98	68159,98
2	0,00	66796,78	66796,78
3	0,00	65460,84	65460,84
4	0,00	64151,63	64151,63
5	0,00	62868,60	62868,60
6	0,00	61611,22	61611,22
7	0,00	60379,00	60379,00
8	0,00	59171,42	59171,42
		VAL =	(105.225,50 Esc)
		TIR =	2%

n = 10

Anos	Custo de Investimento	Poupanças em Combustível	Cash-Flow
0	-458316,00	0,00	-458316,00
1	0,00	68159,98	68159,98
2	0,00	66796,78	66796,78
3	0,00	65460,84	65460,84
4	0,00	64151,63	64151,63
5	0,00	62868,60	62868,60
6	0,00	61611,22	61611,22
7	0,00	60379,00	60379,00
8	0,00	59171,42	59171,42
9	0,00	57987,99	57987,99
10	0,00	56828,23	56828,23
		VAL =	(62.950,67 Esc)
		TIR =	6%

n = 12

Anos	Custo de Investimento	Poupanças em Combustível	Cash-Flow
0	-458316,00	0,00	-458316,00
1	0,00	68159,98	68159,98
2	0,00	66796,78	66796,78
3	0,00	65460,84	65460,84
4	0,00	64151,63	64151,63
5	0,00	62868,60	62868,60
6	0,00	61611,22	61611,22
7	0,00	60379,00	60379,00
8	0,00	59171,42	59171,42
9	0,00	57987,99	57987,99
10	0,00	56828,23	56828,23
11	0,00	55691,67	55691,67
12	0,00	54577,83	54577,83
		VAL =	(29.396,33 Esc)
		TIR =	8%

Hipótese 4 = Concessão de um subsídio a fundo perdido de 30 % do investimento

n = 8

Anos	Custo de Investimento	Poupanças em Combustível	Cash-Flow
0	-320821,20	0,00	-320821,20
1	0,00	69551,00	69551,00
2	0,00	69551,00	69551,00
3	0,00	69551,00	69551,00
4	0,00	69551,00	69551,00
5	0,00	69551,00	69551,00
6	0,00	69551,00	69551,00
7	0,00	69551,00	69551,00
8	0,00	69551,00	69551,00
		VAL =	45.662,05 Esc
		TIR =	14%

n = 10

Anos	Custo de Investimento	Poupanças em Combustível	Cash-Flow
0	-320821,20	0,00	-320821,20
1	0,00	69551,00	69551,00
2	0,00	69551,00	69551,00
3	0,00	69551,00	69551,00
4	0,00	69551,00	69551,00
5	0,00	69551,00	69551,00
6	0,00	69551,00	69551,00
7	0,00	69551,00	69551,00
8	0,00	69551,00	69551,00
9	0,00	69551,00	69551,00
10	0,00	69551,00	69551,00
		VAL =	96.854,17 Esc
		TIR =	17%

n = 12

Anos	Custo de Investimento	Poupanças em Combustível	Cash-Flow
0	-320821,20	0,00	-320821,20
1	0,00	69551,00	69551,00
2	0,00	69551,00	69551,00
3	0,00	69551,00	69551,00
4	0,00	69551,00	69551,00
5	0,00	69551,00	69551,00
6	0,00	69551,00	69551,00
7	0,00	69551,00	69551,00
8	0,00	69551,00	69551,00
9	0,00	69551,00	69551,00
10	0,00	69551,00	69551,00
11	0,00	69551,00	69551,00
12	0,00	69551,00	69551,00
		VAL =	139.161,71 Esc
		TIR =	19%

ANEXO 3

Análise Económica para um veículo pesado de passageiros**Conversão de um veículo a gasóleo para CNG**

(Sistema apenas para gás natural)

Tipo convencional de combustível: gasóleo

Conteúdo energético da gasolina: 36 MJ/L = 10 Kwh

Preço da gasóleo: 104\$00/L

Combustível alternativo: gás natural comprimido

Conteúdo energético do gás natural: 36 MJ/m³ = 10 KwhDensidade do gás natural: 0.75 Kg/m³Preço do gás natural comprimido: 544 liras/m³ = 56\$30/m³

Taxa de câmbio da Lira em 13.07.94 = 0\$10357000

De acordo com o conteúdo energético dos combustíveis,
1 metro cúbico de gás natural corresponde a 1litros de
gasóleo.

Distância anual percorrida pelo veículo: 75000 Km

Consumo de gasóleo: 35 L/100 Km

945000 MJ/ano correspondem a 35 L/100 Km de gasóleo e a
35 m³/100 Km de CNG

Valor anual do gasóleo substituído: 2730000\$00

Despesas anuais em CNG: 1477875\$00

Poupaça anual em combustíveis: 1252125\$00

Custo de conversão do veículo: entre 15000000 Liras e 20000000 Liras
(entre 1553550\$00 e 2071400\$00)

Análise de sensibilidade para um custo de conversão de 1553550\$00

Hipótese 1 = Manutenção do preço relativo gasolina/gás natural

n = 8

Anos	Custo de Investimento	Poupanças em Combustível	Cash-Flow
0	-1553550,00	0,00	-1553550,00
1	0,00	1252125,00	1252125,00
2	0,00	1252125,00	1252125,00
3	0,00	1252125,00	1252125,00
4	0,00	1252125,00	1252125,00
5	0,00	1252125,00	1252125,00
6	0,00	1252125,00	1252125,00
7	0,00	1252125,00	1252125,00
8	0,00	1252125,00	1252125,00
		VAL =	4.660.404,06 Esc
		TIR =	80%

n = 10

Anos	Custo de Investimento	Poupanças em Combustível	Cash-Flow
0	-1553550,00	0,00	-1553550,00
1	0,00	1252125,00	1252125,00
2	0,00	1252125,00	1252125,00
3	0,00	1252125,00	1252125,00
4	0,00	1252125,00	1252125,00
5	0,00	1252125,00	1252125,00
6	0,00	1252125,00	1252125,00
7	0,00	1252125,00	1252125,00
8	0,00	1252125,00	1252125,00
9	0,00	1252125,00	1252125,00
10	0,00	1252125,00	1252125,00
		VAL =	5.582.014,62 Esc
		TIR =	80%

n = 12

Anos	Custo de Investimento	Poupanças em Combustível	Cash-Flow
0	-1553550,00	0,00	-1553550,00
1	0,00	1252125,00	1252125,00
2	0,00	1252125,00	1252125,00
3	0,00	1252125,00	1252125,00
4	0,00	1252125,00	1252125,00
5	0,00	1252125,00	1252125,00
6	0,00	1252125,00	1252125,00
7	0,00	1252125,00	1252125,00
8	0,00	1252125,00	1252125,00
9	0,00	1252125,00	1252125,00
10	0,00	1252125,00	1252125,00
11	0,00	1252125,00	1252125,00
12	0,00	1252125,00	1252125,00
		VAL =	6.343.676,25 Esc
		TIR =	81%

Hipótese 2 = Aumento do preço relativo gasolina/gás natural em 2% ao ano

n = 8

Anos	Custo de Investimento	Poupanças em Combustível	Cash-Flow
0	-1553550,00	0,00	-1553550,00
1	0,00	1277167,50	1277167,50
2	0,00	1302710,85	1302710,85
3	0,00	1328765,07	1328765,07
4	0,00	1355340,37	1355340,37
5	0,00	1382447,18	1382447,18
6	0,00	1410096,12	1410096,12
7	0,00	1438298,04	1438298,04
8	0,00	1467064,00	1467064,00
		VAL =	5.168.174,91 Esc
		TIR =	83%

n = 10

Anos	Custo de Investimento	Poupanças em Combustível	Cash-Flow
0	-1553550,00	0,00	-1553550,00
1	0,00	1277167,50	1277167,50
2	0,00	1302710,85	1302710,85
3	0,00	1328765,07	1328765,07
4	0,00	1355340,37	1355340,37
5	0,00	1382447,18	1382447,18
6	0,00	1410096,12	1410096,12
7	0,00	1438298,04	1438298,04
8	0,00	1467064,00	1467064,00
9	0,00	1496405,28	1496405,28
10	0,00	1526333,39	1526333,39
		VAL =	6.280.074,46 Esc
		TIR =	84%

n = 12

Anos	Custo de Investimento	Poupanças em Combustível	Cash-Flow
0	-1553550,00	0,00	-1553550,00
1	0,00	1277167,50	1277167,50
2	0,00	1302710,85	1302710,85
3	0,00	1328765,07	1328765,07
4	0,00	1355340,37	1355340,37
5	0,00	1382447,18	1382447,18
6	0,00	1410096,12	1410096,12
7	0,00	1438298,04	1438298,04
8	0,00	1467064,00	1467064,00
9	0,00	1496405,28	1496405,28
10	0,00	1526333,39	1526333,39
11	0,00	1556860,06	1556860,06
12	0,00	1587997,26	1587997,26
		VAL =	7.236.124,30 Esc
		TIR =	84%

Hipótese 3 = Diminuição do preço relativo gasolina/gás natural em 2 % ao ano

n = 8

Anos	Custo de Investimento	Poupanças em Combustível	Cash-Flow
0	-1553550,00	0,00	-1553550,00
1	0,00	1227082,50	1227082,50
2	0,00	1202540,85	1202540,85
3	0,00	1178490,03	1178490,03
4	0,00	1154920,23	1154920,23
5	0,00	1131821,83	1131821,83
6	0,00	1109185,39	1109185,39
7	0,00	1087001,68	1087001,68
8	0,00	1065261,65	1065261,65
		VAL =	4.194.266,11 Esc
		TIR =	76%

n = 10

Anos	Custo de Investimento	Poupanças em Combustível	Cash-Flow
0	-1553550,00	0,00	-1553550,00
1	0,00	1227082,50	1227082,50
2	0,00	1202540,85	1202540,85
3	0,00	1178490,03	1178490,03
4	0,00	1154920,23	1154920,23
5	0,00	1131821,83	1131821,83
6	0,00	1109185,39	1109185,39
7	0,00	1087001,68	1087001,68
8	0,00	1065261,65	1065261,65
9	0,00	1043956,42	1043956,42
10	0,00	1023077,29	1023077,29
		VAL =	4.955.338,85 Esc
		TIR =	77%

n = 12

Anos	Custo de Investimento	Poupanças em Combustível	Cash-Flow
0	-1553550,00	0,00	-1553550,00
1	0,00	1227082,50	1227082,50
2	0,00	1202540,85	1202540,85
3	0,00	1178490,03	1178490,03
4	0,00	1154920,23	1154920,23
5	0,00	1131821,83	1131821,83
6	0,00	1109185,39	1109185,39
7	0,00	1087001,68	1087001,68
8	0,00	1065261,65	1065261,65
9	0,00	1043956,42	1043956,42
10	0,00	1023077,29	1023077,29
11	0,00	1002615,74	1002615,74
12	0,00	982563,43	982563,43
		VAL =	5.559.416,75 Esc
		TIR =	77%

Hipótese 4 = Concessão de um subsídio a fundo perdido de 30 % do investimento

n = 8

Anos	Custo de Investimento	Poupanças em Combustível	Cash-Flow
0	-1087485,00	0,00	-1087485,00
1	0,00	1252125,00	1252125,00
2	0,00	1252125,00	1252125,00
3	0,00	1252125,00	1252125,00
4	0,00	1252125,00	1252125,00
5	0,00	1252125,00	1252125,00
6	0,00	1252125,00	1252125,00
7	0,00	1252125,00	1252125,00
8	0,00	1252125,00	1252125,00
		VAL =	5.084.099,51 Esc
		TIR =	115%

n = 10

Anos	Custo de Investimento	Poupanças em Combustível	Cash-Flow
0	-1087485,00	0,00	-1087485,00
1	0,00	1252125,00	1252125,00
2	0,00	1252125,00	1252125,00
3	0,00	1252125,00	1252125,00
4	0,00	1252125,00	1252125,00
5	0,00	1252125,00	1252125,00
6	0,00	1252125,00	1252125,00
7	0,00	1252125,00	1252125,00
8	0,00	1252125,00	1252125,00
9	0,00	1252125,00	1252125,00
10	0,00	1252125,00	1252125,00
		VAL =	6.005.710,08 Esc
		TIR =	115%

n = 12

Anos	Custo de Investimento	Poupanças em Combustível	Cash-Flow
0	-1087485,00	0,00	-1087485,00
1	0,00	1252125,00	1252125,00
2	0,00	1252125,00	1252125,00
3	0,00	1252125,00	1252125,00
4	0,00	1252125,00	1252125,00
5	0,00	1252125,00	1252125,00
6	0,00	1252125,00	1252125,00
7	0,00	1252125,00	1252125,00
8	0,00	1252125,00	1252125,00
9	0,00	1252125,00	1252125,00
10	0,00	1252125,00	1252125,00
11	0,00	1252125,00	1252125,00
12	0,00	1252125,00	1252125,00
		VAL =	6.767.371,70 Esc
		TIR =	115%

Análise Económica para um veículo pesado de passageiros**Conversão de um veículo a gasóleo para CNG**

(Sistema apenas para gás natural)

Tipo convencional de combustível: gasóleo

Conteúdo energético da gasolina: 36 MJ/L = 10 Kwh

Preço da gasóleo: 104\$00/L

Combustível alternativo: gás natural comprimido

Conteúdo energético do gás natural: 36 MJ/m³ = 10 KwhDensidade do gás natural: 0.75 Kg/m³Preço do gás natural comprimido: 544 liras/m³ = 56\$30/m³

Taxa de câmbio da Lira em 13.07.94 = 0\$10357000

De acordo com o conteúdo energético dos combustíveis,
1 metro cúbico de gás natural corresponde a 1litros de
gasóleo.

Distância anual percorrida pelo veículo: 75000 Km

Consumo de gasóleo: 35 L/100 Km

945000 MJ/ano correspondem a 35 L/100 Km de gasóleo e a
35 m³/100 Km de CNG

Valor anual do gasóleo substituído: 2730000\$00

Despesas anuais em CNG: 1477875\$00

Poupaça anual em combustíveis: 1252125\$00

Custo de conversão do veículo: entre 15000000 Liras e 20000000 Liras
(entre 1553550\$00 e 2071400\$00)

Análise de sensibilidade para um custo de conversão de 2071400\$00

Hipótese 1 = Manutenção do preço relativo gasolina/gás natural

n = 8

Anos	Custo de Investimento	Poupanças em Combustível	Cash-Flow
0	-2071400,00	0,00	-2071400,00
1	0,00	1252125,00	1252125,00
2	0,00	1252125,00	1252125,00
3	0,00	1252125,00	1252125,00
4	0,00	1252125,00	1252125,00
5	0,00	1252125,00	1252125,00
6	0,00	1252125,00	1252125,00
7	0,00	1252125,00	1252125,00
8	0,00	1252125,00	1252125,00
		VAL =	4.189.631,33 Esc
		TIR =	59%

n = 10

Anos	Custo de Investimento	Poupanças em Combustível	Cash-Flow
0	-2071400,00	0,00	-2071400,00
1	0,00	1252125,00	1252125,00
2	0,00	1252125,00	1252125,00
3	0,00	1252125,00	1252125,00
4	0,00	1252125,00	1252125,00
5	0,00	1252125,00	1252125,00
6	0,00	1252125,00	1252125,00
7	0,00	1252125,00	1252125,00
8	0,00	1252125,00	1252125,00
9	0,00	1252125,00	1252125,00
10	0,00	1252125,00	1252125,00
		VAL =	5.111.241,90 Esc
		TIR =	60%

n = 12

Anos	Custo de Investimento	Poupanças em Combustível	Cash-Flow
0	-2071400,00	0,00	-2071400,00
1	0,00	1252125,00	1252125,00
2	0,00	1252125,00	1252125,00
3	0,00	1252125,00	1252125,00
4	0,00	1252125,00	1252125,00
5	0,00	1252125,00	1252125,00
6	0,00	1252125,00	1252125,00
7	0,00	1252125,00	1252125,00
8	0,00	1252125,00	1252125,00
9	0,00	1252125,00	1252125,00
10	0,00	1252125,00	1252125,00
11	0,00	1252125,00	1252125,00
12	0,00	1252125,00	1252125,00
		VAL =	5.872.903,52 Esc
		TIR =	60%

Hipótese 2 = Aumento do preço relativo gasolina/gás natural em 2% ao ano
n = 8

Anos	Custo de Investimento	Poupanças em Combustível	Cash-Flow
0	-2071400,00	0,00	-2071400,00
1	0,00	1277167,50	1277167,50
2	0,00	1302710,85	1302710,85
3	0,00	1328765,07	1328765,07
4	0,00	1355340,37	1355340,37
5	0,00	1382447,18	1382447,18
6	0,00	1410096,12	1410096,12
7	0,00	1438298,04	1438298,04
8	0,00	1467064,00	1467064,00
		VAL =	4.697.402,18 Esc
		TIR =	62%

n = 10

Anos	Custo de Investimento	Poupanças em Combustível	Cash-Flow
0	-2071400,00	0,00	-2071400,00
1	0,00	1277167,50	1277167,50
2	0,00	1302710,85	1302710,85
3	0,00	1328765,07	1328765,07
4	0,00	1355340,37	1355340,37
5	0,00	1382447,18	1382447,18
6	0,00	1410096,12	1410096,12
7	0,00	1438298,04	1438298,04
8	0,00	1467064,00	1467064,00
9	0,00	1496405,28	1496405,28
10	0,00	1526333,39	1526333,39
		VAL =	5.809.301,74 Esc
		TIR =	63%

n = 12

Anos	Custo de Investimento	Poupanças em Combustível	Cash-Flow
0	-2071400,00	0,00	-2071400,00
1	0,00	1277167,50	1277167,50
2	0,00	1302710,85	1302710,85
3	0,00	1328765,07	1328765,07
4	0,00	1355340,37	1355340,37
5	0,00	1382447,18	1382447,18
6	0,00	1410096,12	1410096,12
7	0,00	1438298,04	1438298,04
8	0,00	1467064,00	1467064,00
9	0,00	1496405,28	1496405,28
10	0,00	1526333,39	1526333,39
11	0,00	1556860,06	1556860,06
12	0,00	1587997,26	1587997,26
		VAL =	6.765.351,57 Esc
		TIR =	63%

Hipótese 3 = Diminuição do preço relativo gasolina/gás natural em 2 % ao ano
n = 8

Anos	Custo de Investimento	Poupanças em Combustível	Cash-Flow
0	-2071400,00	0,00	-2071400,00
1	0,00	1227082,50	1227082,50
2	0,00	1202540,85	1202540,85
3	0,00	1178490,03	1178490,03
4	0,00	1154920,23	1154920,23
5	0,00	1131821,83	1131821,83
6	0,00	1109185,39	1109185,39
7	0,00	1087001,68	1087001,68
8	0,00	1065261,65	1065261,65
		VAL =	3.723.493,39 Esc
		TIR =	56%

n = 10

Anos	Custo de Investimento	Poupanças em Combustível	Cash-Flow
0	-2071400,00	0,00	-2071400,00
1	0,00	1227082,50	1227082,50
2	0,00	1202540,85	1202540,85
3	0,00	1178490,03	1178490,03
4	0,00	1154920,23	1154920,23
5	0,00	1131821,83	1131821,83
6	0,00	1109185,39	1109185,39
7	0,00	1087001,68	1087001,68
8	0,00	1065261,65	1065261,65
9	0,00	1043956,42	1043956,42
10	0,00	1023077,29	1023077,29
		VAL =	4.484.566,13 Esc
		TIR =	57%

n = 12

Anos	Custo de Investimento	Poupanças em Combustível	Cash-Flow
0	-2071400,00	0,00	-2071400,00
1	0,00	1227082,50	1227082,50
2	0,00	1202540,85	1202540,85
3	0,00	1178490,03	1178490,03
4	0,00	1154920,23	1154920,23
5	0,00	1131821,83	1131821,83
6	0,00	1109185,39	1109185,39
7	0,00	1087001,68	1087001,68
8	0,00	1065261,65	1065261,65
9	0,00	1043956,42	1043956,42
10	0,00	1023077,29	1023077,29
11	0,00	1002615,74	1002615,74
12	0,00	982563,43	982563,43
		VAL =	5.088.644,03 Esc
		TIR =	57%

Hipótese 4 = Concessão de um subsídio a fundo perdido de 30 % do investimento

n = 8

Anos	Custo de Investimento	Poupanças em Combustível	Cash-Flow
0	-1449980,00	0,00	-1449980,00
1	0,00	1252125,00	1252125,00
2	0,00	1252125,00	1252125,00
3	0,00	1252125,00	1252125,00
4	0,00	1252125,00	1252125,00
5	0,00	1252125,00	1252125,00
6	0,00	1252125,00	1252125,00
7	0,00	1252125,00	1252125,00
8	0,00	1252125,00	1252125,00
		VAL =	4.754.558,61 Esc
		TIR =	86%

n = 10

Anos	Custo de Investimento	Poupanças em Combustível	Cash-Flow
0	-1449980,00	0,00	-1449980,00
1	0,00	1252125,00	1252125,00
2	0,00	1252125,00	1252125,00
3	0,00	1252125,00	1252125,00
4	0,00	1252125,00	1252125,00
5	0,00	1252125,00	1252125,00
6	0,00	1252125,00	1252125,00
7	0,00	1252125,00	1252125,00
8	0,00	1252125,00	1252125,00
9	0,00	1252125,00	1252125,00
10	0,00	1252125,00	1252125,00
		VAL =	5.676.169,17 Esc
		TIR =	86%

n = 12

Anos	Custo de Investimento	Poupanças em Combustível	Cash-Flow
0	-1449980,00	0,00	-1449980,00
1	0,00	1252125,00	1252125,00
2	0,00	1252125,00	1252125,00
3	0,00	1252125,00	1252125,00
4	0,00	1252125,00	1252125,00
5	0,00	1252125,00	1252125,00
6	0,00	1252125,00	1252125,00
7	0,00	1252125,00	1252125,00
8	0,00	1252125,00	1252125,00
9	0,00	1252125,00	1252125,00
10	0,00	1252125,00	1252125,00
11	0,00	1252125,00	1252125,00
12	0,00	1252125,00	1252125,00
		VAL =	6.437.830,79 Esc
		TIR =	86%

ANEXO 4

Análise Económica para um veículo pesado de passageiros**Conversão de um veículo a gasóleo para CNG**

(Sistema Dual-Fuel)

Tipo convencional de combustível: gasóleo

Conteúdo energético da gasolina: 36 MJ/L = 10 Kwh

Preço da gasóleo: 104\$00/L

Combustível alternativo: gás natural comprimido

Conteúdo energético do gás natural: 36 MJ/m³ = 10 KwhDensidade do gás natural: 0.75 Kg/m³Preço do gás natural comprimido: 544 liras/m³ = 56\$30/m³

Taxa de câmbio da Lira em 13.07.94 = 0\$10357000

De acordo com o conteúdo energético dos combustíveis,
1 metro cúbico de gás natural corresponde a 1litros de
gasóleo.

Distância anual percorrida pelo veículo: 75000 Km

Consumo de gasóleo: 35 L/100 Km

945000 MJ/ano correspondem a 35 L/100 Km de gasóleo e a
35 m³/100 Km de CNG

Valor anual do gasóleo substituído: 2730000\$00

Despesas anuais em CNG: 1477875\$00

Poupaça anual em combustíveis: 1252125\$00

Custo de conversão do veículo: entre 8000000 Liras e 10000000 Liras
(entre 828560\$00 e 1035700\$00)

Análise de sensibilidade para um custo de conversão de 828560\$00

Hipótese 1 = Manutenção do preço relativo gasolina/gás natural

n = 8

Anos	Custo de Investimento	Poupanças em Combustível	Cash-Flow
0	-828560,00	0,00	-828560,00
1	0,00	1252125,00	1252125,00
2	0,00	1252125,00	1252125,00
3	0,00	1252125,00	1252125,00
4	0,00	1252125,00	1252125,00
5	0,00	1252125,00	1252125,00
6	0,00	1252125,00	1252125,00
7	0,00	1252125,00	1252125,00
8	0,00	1252125,00	1252125,00
		VAL =	5.319.485,88 Esc
		TIR =	151%

n = 10

Anos	Custo de Investimento	Poupanças em Combustível	Cash-Flow
0	-828560,00	0,00	-828560,00
1	0,00	1252125,00	1252125,00
2	0,00	1252125,00	1252125,00
3	0,00	1252125,00	1252125,00
4	0,00	1252125,00	1252125,00
5	0,00	1252125,00	1252125,00
6	0,00	1252125,00	1252125,00
7	0,00	1252125,00	1252125,00
8	0,00	1252125,00	1252125,00
9	0,00	1252125,00	1252125,00
10	0,00	1252125,00	1252125,00
		VAL =	6.241.096,44 Esc
		TIR =	151%

n = 12

Anos	Custo de Investimento	Poupanças em Combustível	Cash-Flow
0	-828560,00	0,00	-828560,00
1	0,00	1252125,00	1252125,00
2	0,00	1252125,00	1252125,00
3	0,00	1252125,00	1252125,00
4	0,00	1252125,00	1252125,00
5	0,00	1252125,00	1252125,00
6	0,00	1252125,00	1252125,00
7	0,00	1252125,00	1252125,00
8	0,00	1252125,00	1252125,00
9	0,00	1252125,00	1252125,00
10	0,00	1252125,00	1252125,00
11	0,00	1252125,00	1252125,00
12	0,00	1252125,00	1252125,00
		VAL =	7.002.758,07 Esc
		TIR =	151%

Hipótese 2 = Aumento do preço relativo gasolina/gás natural em 2% ao ano

n = 8

Anos	Custo de Investimento	Poupanças em Combustível	Cash-Flow
0	-828560,00	0,00	-828560,00
1	0,00	1277167,50	1277167,50
2	0,00	1302710,85	1302710,85
3	0,00	1328765,07	1328765,07
4	0,00	1355340,37	1355340,37
5	0,00	1382447,18	1382447,18
6	0,00	1410096,12	1410096,12
7	0,00	1438298,04	1438298,04
8	0,00	1467064,00	1467064,00
		VAL =	5.827.256,73 Esc
		TIR =	156%

n = 10

Anos	Custo de Investimento	Poupanças em Combustível	Cash-Flow
0	-828560,00	0,00	-828560,00
1	0,00	1277167,50	1277167,50
2	0,00	1302710,85	1302710,85
3	0,00	1328765,07	1328765,07
4	0,00	1355340,37	1355340,37
5	0,00	1382447,18	1382447,18
6	0,00	1410096,12	1410096,12
7	0,00	1438298,04	1438298,04
8	0,00	1467064,00	1467064,00
9	0,00	1496405,28	1496405,28
10	0,00	1526333,39	1526333,39
		VAL =	6.939.156,28 Esc
		TIR =	156%

n = 12

Anos	Custo de Investimento	Poupanças em Combustível	Cash-Flow
0	-828560,00	0,00	-828560,00
1	0,00	1277167,50	1277167,50
2	0,00	1302710,85	1302710,85
3	0,00	1328765,07	1328765,07
4	0,00	1355340,37	1355340,37
5	0,00	1382447,18	1382447,18
6	0,00	1410096,12	1410096,12
7	0,00	1438298,04	1438298,04
8	0,00	1467064,00	1467064,00
9	0,00	1496405,28	1496405,28
10	0,00	1526333,39	1526333,39
11	0,00	1556860,06	1556860,06
12	0,00	1587997,26	1587997,26
		VAL =	7.895.206,12 Esc
		TIR =	156%

Hipótese 3 = Diminuição do preço relativo gasolina/gás natural em 2 % ao ano

n = 8

Anos	Custo de Investimento	Poupanças em Combustível	Cash-Flow
0	-828560,00	0,00	-828560,00
1	0,00	1227082,50	1227082,50
2	0,00	1202540,85	1202540,85
3	0,00	1178490,03	1178490,03
4	0,00	1154920,23	1154920,23
5	0,00	1131821,83	1131821,83
6	0,00	1109185,39	1109185,39
7	0,00	1087001,68	1087001,68
8	0,00	1065261,65	1065261,65
		VAL =	4.853.347,93 Esc
		TIR =	146%

n = 10

Anos	Custo de Investimento	Poupanças em Combustível	Cash-Flow
0	-828560,00	0,00	-828560,00
1	0,00	1227082,50	1227082,50
2	0,00	1202540,85	1202540,85
3	0,00	1178490,03	1178490,03
4	0,00	1154920,23	1154920,23
5	0,00	1131821,83	1131821,83
6	0,00	1109185,39	1109185,39
7	0,00	1087001,68	1087001,68
8	0,00	1065261,65	1065261,65
9	0,00	1043956,42	1043956,42
10	0,00	1023077,29	1023077,29
		VAL =	5.614.420,67 Esc
		TIR =	146%

n = 12

Anos	Custo de Investimento	Poupanças em Combustível	Cash-Flow
0	-828560,00	0,00	-828560,00
1	0,00	1227082,50	1227082,50
2	0,00	1202540,85	1202540,85
3	0,00	1178490,03	1178490,03
4	0,00	1154920,23	1154920,23
5	0,00	1131821,83	1131821,83
6	0,00	1109185,39	1109185,39
7	0,00	1087001,68	1087001,68
8	0,00	1065261,65	1065261,65
9	0,00	1043956,42	1043956,42
10	0,00	1023077,29	1023077,29
11	0,00	1002615,74	1002615,74
12	0,00	982563,43	982563,43
		VAL =	6.218.498,57 Esc
		TIR =	146%

Hipótese 4 = Concessão de um subsídio a fundo perdido de 30 % do investimento
n = 8

Anos	Custo de Investimento	Poupanças em Combustível	Cash-Flow
0	-579992,00	0,00	-579992,00
1	0,00	1252125,00	1252125,00
2	0,00	1252125,00	1252125,00
3	0,00	1252125,00	1252125,00
4	0,00	1252125,00	1252125,00
5	0,00	1252125,00	1252125,00
6	0,00	1252125,00	1252125,00
7	0,00	1252125,00	1252125,00
8	0,00	1252125,00	1252125,00
		VAL =	5.545.456,79 Esc
		TIR =	216%

n = 10

Anos	Custo de Investimento	Poupanças em Combustível	Cash-Flow
0	-579992,00	0,00	-579992,00
1	0,00	1252125,00	1252125,00
2	0,00	1252125,00	1252125,00
3	0,00	1252125,00	1252125,00
4	0,00	1252125,00	1252125,00
5	0,00	1252125,00	1252125,00
6	0,00	1252125,00	1252125,00
7	0,00	1252125,00	1252125,00
8	0,00	1252125,00	1252125,00
9	0,00	1252125,00	1252125,00
10	0,00	1252125,00	1252125,00
		VAL =	6.467.067,35 Esc
		TIR =	216%

n = 12

Anos	Custo de Investimento	Poupanças em Combustível	Cash-Flow
0	-579992,00	0,00	-579992,00
1	0,00	1252125,00	1252125,00
2	0,00	1252125,00	1252125,00
3	0,00	1252125,00	1252125,00
4	0,00	1252125,00	1252125,00
5	0,00	1252125,00	1252125,00
6	0,00	1252125,00	1252125,00
7	0,00	1252125,00	1252125,00
8	0,00	1252125,00	1252125,00
9	0,00	1252125,00	1252125,00
10	0,00	1252125,00	1252125,00
11	0,00	1252125,00	1252125,00
12	0,00	1252125,00	1252125,00
		VAL =	7.228.728,98 Esc
		TIR =	216%

Análise Económica para um veículo pesado de passageiros**Conversão de um veículo a gasóleo para CNG**

(Sistema Dual-Fuel)

Tipo convencional de combustível: gasóleo

Conteúdo energético da gasolina: 36 MJ/L = 10 Kwh

Preço da gasóleo: 104\$00/L

Combustível alternativo: gás natural comprimido

Conteúdo energético do gás natural: 36 MJ/m³ = 10 KwhDensidade do gás natural: 0.75 Kg/m³Preço do gás natural comprimido: 544 liras/m³ = 56\$30/m³

Taxa de câmbio da Lira em 13.07.94 = 0\$10357000

De acordo com o conteúdo energético dos combustíveis,
1 metro cúbico de gás natural corresponde a 1litros de
gasóleo.

Distância anual percorrida pelo veículo: 75000 Km

Consumo de gasóleo: 35 L/100 Km

945000 MJ/ano correspondem a 35 L/100 Km de gasóleo e a
35 m³/100 Km de CNG

Valor anual do gasóleo substituído: 2730000\$00

Despesas anuais em CNG: 1477875\$00

Poupança anual em combustíveis: 1252125\$00

Custo de conversão do veículo: entre 8000000 Liras e 10000000 Liras
(entre 828560\$00 e 1035700\$00)

Análise de sensibilidade para um custo de conversão de 1035700\$00

Hipótese 1 = Manutenção do preço relativo gasolina/gás natural

n = 8

Anos	Custo de Investimento	Poupanças em Combustível	Cash-Flow
0	-1035700,00	0,00	-1035700,00
1	0,00	1252125,00	1252125,00
2	0,00	1252125,00	1252125,00
3	0,00	1252125,00	1252125,00
4	0,00	1252125,00	1252125,00
5	0,00	1252125,00	1252125,00
6	0,00	1252125,00	1252125,00
7	0,00	1252125,00	1252125,00
8	0,00	1252125,00	1252125,00
		VAL =	5.131.176,79 Esc
		TIR =	121 %

n = 10

Anos	Custo de Investimento	Poupanças em Combustível	Cash-Flow
0	-1035700,00	0,00	-1035700,00
1	0,00	1252125,00	1252125,00
2	0,00	1252125,00	1252125,00
3	0,00	1252125,00	1252125,00
4	0,00	1252125,00	1252125,00
5	0,00	1252125,00	1252125,00
6	0,00	1252125,00	1252125,00
7	0,00	1252125,00	1252125,00
8	0,00	1252125,00	1252125,00
9	0,00	1252125,00	1252125,00
10	0,00	1252125,00	1252125,00
		VAL =	6.052.787,35 Esc
		TIR =	121 %

n = 12

Anos	Custo de Investimento	Poupanças em Combustível	Cash-Flow
0	-1035700,00	0,00	-1035700,00
1	0,00	1252125,00	1252125,00
2	0,00	1252125,00	1252125,00
3	0,00	1252125,00	1252125,00
4	0,00	1252125,00	1252125,00
5	0,00	1252125,00	1252125,00
6	0,00	1252125,00	1252125,00
7	0,00	1252125,00	1252125,00
8	0,00	1252125,00	1252125,00
9	0,00	1252125,00	1252125,00
10	0,00	1252125,00	1252125,00
11	0,00	1252125,00	1252125,00
12	0,00	1252125,00	1252125,00
		VAL =	6.814.448,98 Esc
		TIR =	121%

Hipótese 2 = Aumento do preço relativo gasolina/gás natural em 2% ao ano
n = 8

Anos	Custo de Investimento	Poupanças em Combustível	Cash-Flow
0	-1035700,00	0,00	-1035700,00
1	0,00	1277167,50	1277167,50
2	0,00	1302710,85	1302710,85
3	0,00	1328765,07	1328765,07
4	0,00	1355340,37	1355340,37
5	0,00	1382447,18	1382447,18
6	0,00	1410096,12	1410096,12
7	0,00	1438298,04	1438298,04
8	0,00	1467064,00	1467064,00
		VAL =	5.638.947,64 Esc
		TIR =	125%

n = 10

Anos	Custo de Investimento	Poupanças em Combustível	Cash-Flow
0	-1035700,00	0,00	-1035700,00
1	0,00	1277167,50	1277167,50
2	0,00	1302710,85	1302710,85
3	0,00	1328765,07	1328765,07
4	0,00	1355340,37	1355340,37
5	0,00	1382447,18	1382447,18
6	0,00	1410096,12	1410096,12
7	0,00	1438298,04	1438298,04
8	0,00	1467064,00	1467064,00
9	0,00	1496405,28	1496405,28
10	0,00	1526333,39	1526333,39
		VAL =	6.750.847,19 Esc
		TIR =	125%

n = 12

Anos	Custo de Investimento	Poupanças em Combustível	Cash-Flow
0	-1035700,00	0,00	-1035700,00
1	0,00	1277167,50	1277167,50
2	0,00	1302710,85	1302710,85
3	0,00	1328765,07	1328765,07
4	0,00	1355340,37	1355340,37
5	0,00	1382447,18	1382447,18
6	0,00	1410096,12	1410096,12
7	0,00	1438298,04	1438298,04
8	0,00	1467064,00	1467064,00
9	0,00	1496405,28	1496405,28
10	0,00	1526333,39	1526333,39
11	0,00	1556860,06	1556860,06
12	0,00	1587997,26	1587997,26
		VAL =	7.706.897,02 Esc
		TIR =	125%

Hipótese 3 = Diminuição do preço relativo gasolina/gás natural em 2 % ao ano
n = 8

Anos	Custo de Investimento	Poupanças em Combustível	Cash-Flow
0	-1035700,00	0,00	-1035700,00
1	0,00	1227082,50	1227082,50
2	0,00	1202540,85	1202540,85
3	0,00	1178490,03	1178490,03
4	0,00	1154920,23	1154920,23
5	0,00	1131821,83	1131821,83
6	0,00	1109185,39	1109185,39
7	0,00	1087001,68	1087001,68
8	0,00	1065261,65	1065261,65
		VAL =	4.665.038,84 Esc
		TIR =	116%

n = 10

Anos	Custo de Investimento	Poupanças em Combustível	Cash-Flow
0	-1035700,00	0,00	-1035700,00
1	0,00	1227082,50	1227082,50
2	0,00	1202540,85	1202540,85
3	0,00	1178490,03	1178490,03
4	0,00	1154920,23	1154920,23
5	0,00	1131821,83	1131821,83
6	0,00	1109185,39	1109185,39
7	0,00	1087001,68	1087001,68
8	0,00	1065261,65	1065261,65
9	0,00	1043956,42	1043956,42
10	0,00	1023077,29	1023077,29
		VAL =	5.426.111,58 Esc
		TIR =	116%

n = 12

Anos	Custo de Investimento	Poupanças em Combustível	Cash-Flow
0	-1035700,00	0,00	-1035700,00
1	0,00	1227082,50	1227082,50
2	0,00	1202540,85	1202540,85
3	0,00	1178490,03	1178490,03
4	0,00	1154920,23	1154920,23
5	0,00	1131821,83	1131821,83
6	0,00	1109185,39	1109185,39
7	0,00	1087001,68	1087001,68
8	0,00	1065261,65	1065261,65
9	0,00	1043956,42	1043956,42
10	0,00	1023077,29	1023077,29
11	0,00	1002615,74	1002615,74
12	0,00	982563,43	982563,43
		VAL =	6.030.189,48 Esc
		TIR =	116%

Hipótese 4 = Concessão de um subsídio a fundo perdido de 30 % do investimento

n = 8

Anos	Custo de Investimento	Poupanças em Combustível	Cash-Flow
0	-724990,00	0,00	-724990,00
1	0,00	1252125,00	1252125,00
2	0,00	1252125,00	1252125,00
3	0,00	1252125,00	1252125,00
4	0,00	1252125,00	1252125,00
5	0,00	1252125,00	1252125,00
6	0,00	1252125,00	1252125,00
7	0,00	1252125,00	1252125,00
8	0,00	1252125,00	1252125,00
		VAL =	5.413.640,42 Esc
		TIR =	173%

n = 10

Anos	Custo de Investimento	Poupanças em Combustível	Cash-Flow
0	-724990,00	0,00	-724990,00
1	0,00	1252125,00	1252125,00
2	0,00	1252125,00	1252125,00
3	0,00	1252125,00	1252125,00
4	0,00	1252125,00	1252125,00
5	0,00	1252125,00	1252125,00
6	0,00	1252125,00	1252125,00
7	0,00	1252125,00	1252125,00
8	0,00	1252125,00	1252125,00
9	0,00	1252125,00	1252125,00
10	0,00	1252125,00	1252125,00
		VAL =	6.335.250,99 Esc
		TIR =	173%

n = 12

Anos	Custo de Investimento	Poupanças em Combustível	Cash-Flow
0	-724990,00	0,00	-724990,00
1	0,00	1252125,00	1252125,00
2	0,00	1252125,00	1252125,00
3	0,00	1252125,00	1252125,00
4	0,00	1252125,00	1252125,00
5	0,00	1252125,00	1252125,00
6	0,00	1252125,00	1252125,00
7	0,00	1252125,00	1252125,00
8	0,00	1252125,00	1252125,00
9	0,00	1252125,00	1252125,00
10	0,00	1252125,00	1252125,00
11	0,00	1252125,00	1252125,00
12	0,00	1252125,00	1252125,00
		VAL =	7.096.912,61 Esc
		TIR =	173%

10. BIBLIOGRAFIA

- BARROS, C.(1988), *Relatório de energia e ambiente, 2º Relatório*, 39 p;
- BASSI, A.(1993), *Natural Gas Vehicles for a clean environment*, Second International Conference on Combustion Technologies for a Clean Environment, 9 p;
- BRANDA, M.(1992), *Strategic and economics relevance of natural gas in transport*, European Seminar on Natural Gas as Fuel in Public Transport Vehicles, Fast - Milan, Italy 13-14-15 May 1992; pp. 21-28;
- BRITISH GAS(1991a), *Natural Gas - a cleaner fuel for transport*, 6 p;
- BRITISH GAS(1991b), *Natural Gas, the way ahead...naturally*, 3 p;
- BRITISH GAS(1992), *Natural Gas, the way ahead...naturally*, 4 p;
- CANNON, J.(1993), *Paving the way to Natural Gas Vehicles*, 182 p;
- DGE(1991), *Informação Energia*, nº 16, 1991, pp 31-32;
- DRUMMONG, J.(1991), *Potential for CNG vehicles depends on strong infrastructure*, The Oil Daily; 1 p;
- ECCOTRAFFIC AB(1992), *The life of fuels - Motor fuels from source to end use*,179 p;
- EQUITABLE GAS(1994), *Natural gas vehicles...The decision starts here*, RP Publishing, inc. , Thomas & Associates, inc., January 1994, First edition, 32 p;
- FONSECA, C.; RODRIGUES, A.(1990), *Energia e Transportes - A Região de Lisboa*, Perform, 29-30 Outubro 1990, 17 p;
- HEATON, D; VAN DER WEIDE, J.(1993), *Natural Gas Powered Vehicles and Transport Fuels*, International Conference on Natural Gas Technologies: Energy Security, Environment and Economic Development, Kyoto, Japan, 31 October-3 November 1993, 16 p;
- IANGV(1990), *A position paper on natural gas vehicles 1990*, editado por John Stephenson, 113 p;
- IANGV(1993), *A position paper on natural gas vehicles 1993*, editado por John Stephenson, p;
- IEA(1990), *Substitute fuels for road transport - a technology assessment*, 115 p;
- IEA(1992),*Methane as a motor fuel*, 167 p;

- MORENO, R; FALLEN BAILEY D.G.(1989), *Alternative transport fuels from natural gas*, The World Bank, Washington D.C; 87 p;
- OVERINGTON, M.T.(1990), *Future engine technology for natural gas vehicles*, Gastech 90 LNG/LPG Conference; 6 p;
- PEREIRA, L. (1992), Sessão de Abertura do Seminário Transcomunitário Transportes Eficientes em Cidades de Média Dimensão, 1992, 9 p;
- PEYREBONNE, C.(1992), "*Strategies to improve traffic effectiveness in urban areas*", Seminário Transcomunitário Transportes Eficientes em Cidades de Média Dimensão, realizado em Coimbra em 14 de Maio de 1992;
- QUINLAN, M.(1991), *Competition from gas*, Petroleum Economist; 2 p;
- SEQUEIRA, L. (1993), "*Livro Branco dos Transportes ou o Desenvolvimento Futuro da Política dos Transportes*", Transportes, Informação e Debate, nº 1, Abril 1993, DGTT, 3 p;
- SOLAGRO,G.(1990), *Le Biogaz a la Pompe - Pour les transports urbaines de la commune urbaine de Lille*, 50 p;
- VAN DER WEIDE, J; SEPPEN, J.(1992), *Natural gas vehicles, environmental balances, natural gas in vehicles: an EEC overview*, European Seminar on Natural Gas as Fuel in Public Transport Vehicles, Fast -Milan, Italy 13-14-15 May 1992; pp. 29-57;
- WGI (1990), *From small beginings, the market for gas based transport fuels awaits an environmental turbocharge*; 2 p;
- VOLVO(1989), *The Engine Alternatives*, Pure Facts, Volvo Bus Corporation, Goteborg 1989, 31 p;
- CORRÊA V.(1990), *A Energia e os Transportes Rodoviários - O Regulamento de Gestão de Energia para o Sector dos Transportes*, Direcção-Geral de Energia, 29-30 de Outubro de 1990, 13 p;
- MARTIN D.(1992), *Introduction and Market Acceptance of CNG: Overcoming Barriers*; Natural Gas Use, Oil Gas - European Magazine, March 1992, 3 p;
- BARROS C. (1992), *Decisões de Investimento e Financiamento de Projectos*, Edições Sílabo, Lda, pp. 15-121;
- ABECASSIS F; CABRAL N. (1982), *Análise Económica e Financeira de Projectos*, 2ª Edição, Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, pp. 11-77;
- TASCHNER, K. (1992). *Who needs biofuels?*, European Environmental Bureau, 7 p;
- HOLMAN, C. (1992), *Car fuel consumption*, a report for European Environmental Bureau, 47 p;

- DUPRESSOIR, C. (1992), *Les biocarburants ont-ils de reels avantages?*, European Environmental Bureau, 16 p;
- EIKELUND, M. (1990), *Natural Gas in Transport - An uexplored market*, Ecotraffic AB, 10 p;
- IGU (1991), *Natural Gas for Vehicles*, Third Draft for Comment, 88 p;
- VON KORF, P. (1990), *Alternative fuels and drive systems for city buses*, MAN Nutzfahrzeuge AG, 11 p;
- CACUDI, G. (1994). *GNC in Italy, situation and perspectives*, International Symposium "Alternative Fuels for Motor Vehicles: Trends and Perspectives", Antweppen, 22-23 February 1994, 13 p;
- MENEZES, J. (1994), *Mobilidade e Ambiente Urbano: a importância da repartição modal*, 4ª Conferência Nacional sobre a Qualidade do Ambiente, Lisboa 6 a 8 de Abril de 1994, pp 93-110;
- FRYSLMAN, A. (1992), *Ônibus a Gás - Aspectos Técnicos, Económicos e Ambientais*, Mercedes Benz do Brasil S/A, Departamento de Sistemas de Trânsito e Transportes, Novembro 1992, 9 p;
- Simões, J. (1992), *Procura de Energia e Qualidade de Vida - Transportes*, Colóquio Debate - Energia e Qualidade de Vida, Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 25 e 26 de Novembro de 1993, 8 p;
- LAMERE, C. (1992), *Transport Terrestre et Environnement des Villes et des Champs*, Transports, n° 354, juillet-août 1992; pp 207-215;



ERRATA

Índice:

Por lapso não foram identificados o ponto 2.5 e a Bibliografia no índice:

(...)
2.5 Exploração do gás natural(pág.15)

(...)
Bibliografia

SIGLAS: (parcialmente ilegíveis)

AFA's - Alternative Fuel Vehicles	NMHC - Non methane Hidrocarbon
EGH - Exhaust Gas Recycling	OEM - Original Equipment Manufacturer
FFV's - Flexible Fuel Vehicles	PCI - Poder Calorífico Inferior
GNC - Gás Natural Comprimido	PCS - Poder Calorífico Superior
GNL - Gás Natural Liquefeito	Pkm - Passageiro-quilómetro
GPL - Gases de Petróleo Liquefeitos	tep - tonelada equivalente de petróleo
HC - Hidrogénio Líquido	TLEV - Transitional Low Emission Vehicle
LEV - Low Emission Vehicle	ULEV - Ultra Low Emission Vehicle
MCH - Methyl Cyclo-Hexan	VHO's - Very Heavy Oils
NGV - Natural Gas Vehicle	Vkm - Veículo-quilómetro
NMOG - Non methane Organic Gas	ZEV - Zero Emission Vehicle

Capítulo 4:

Na página 67, penúltima linha, onde se lê *dispendioso* deverá ler-se *dispendiosa*.

Capítulo 6:

Na página 104, Quadro 6.2, onde se lê *CEC, 1991* deverá ler-se *CCE, 1991*.

Bibliografia:

Por lapso não foram introduzidas as seguintes referências:

- DGE (1986) *Balanço energético 1971-1985*, DGE, 67 p;
- DGE (1991a) *Balanço Energético 1985-1989*, DGE, 23 p;
- DGE (1991b) *Informação e Energia* (16), DGE, 80 p.
- CCE (1991) *Energy in Europe. Annual Energy Review*, Special Issue, December;
- OCDE (1993), *Cars and Climate Change*, IEA/OCDE, 236 p.

Na terceira página, onde se lê Simões, J. (1992) deverá ler-se SIMÕES, J. (1992).